

PRÉVENTION ET CONTRÔLE DU NERPRUN CATHARTIQUE AU QUÉBEC

Par
Annie Favreau-Leclerc

Essai présenté au Centre universitaire de formation
en environnement et développement durable en vue
de l'obtention du grade de maîtrise en environnement (M. Env.)

Sous la direction de Elisabeth Levac

MAÎTRISE EN ENVIRONNEMENT
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Octobre 2019

SOMMAIRE

Mots-clés : Espèce exotique envahissante, nerprun cathartique, gestion, Québec

La gestion des espèces exotiques envahissantes est un enjeu environnemental majeur mondial causant des impacts négatifs sur une variété d'écosystèmes. Au Québec, on retrouve une flore indigène fragile faisant face à plusieurs défis, dont l'apparition de plantes exotiques envahissantes. Parmi celles-ci, le nerprun cathartique (*Rhamnus cathartica*) affecte des milieux naturels du sud de la province en remplaçant la flore indigène variée par des colonies monospécifiques de nerprun. Sa présence engendre des pertes de biodiversité et la modification des sols ce qui favorise par la suite l'établissement d'espèces exotiques au détriment des espèces locales. Afin de limiter ces impacts négatifs, il est impératif d'effectuer une gestion proactive du nerprun en prenant en compte les aspects particuliers de la biologie du nerprun et de la biogéographie du Québec. L'objectif de ce travail est d'analyser les caractéristiques propres au Québec et au nerprun afin de faire ressortir quatre facteurs pouvant diriger la mise en place de plans d'action ayant pour but une gestion préventive du nerprun.

Après une description du nerprun et du territoire du Québec, les facteurs pouvant influencer la gestion du nerprun ont été identifiés et analysés afin de déterminer lesquels sont les plus pertinents à considérer lors du développement d'un plan de gestion. Le critère d'analyse ayant le plus de poids est la capacité à contrôler le facteur par des actions anthropiques. Ensuite, la prédictibilité du facteur est importante, puisqu'il est difficile d'agir sur un facteur à caractère hautement aléatoire. L'influence d'un facteur sur le nerprun et son expansion a aussi été évaluée. Le dernier critère est la localité, puisque les plans d'action sont optimaux lorsqu'ils tiennent compte du contexte particulier de chaque milieu à petite échelle. Les résultats montrent que les trois facteurs ayant un meilleur score lors de l'analyse sont les perturbations anthropiques des milieux naturels, les boisés de frênes dépérissant à cause des effets l'agrile ainsi que la banque de graines dense formée par les individus reproducteurs femelles de nerprun.

Avec ces facteurs en tête, des lignes directrices pour un plan d'action ont été rédigées. Toutefois, le contexte social, économique et écologique de chacun des territoires influence le type d'intervention de gestion. De ce fait, chaque territoire doit être dûment caractérisé et évalué selon les ressources disponibles à la mise en place du plan de gestion. Malgré les coûts importants reliés à la mise en place de tels programmes, il est important de prendre en compte les conséquences importantes engendrées par l'inaction comme l'augmentation des coûts de gestion ou encore la perte de valeur des biens et services écologiques reliée à la dégradation des écosystèmes.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier chaleureusement ma directrice de rédaction, Elisabeth Levac, pour tous ses commentaires me guidant tout au long de ma rédaction. Ses précieux conseils par rapport aux sources à consulter, aux méthodes de rédaction et au maintien du moral ont été essentiels pour la réalisation de cet essai.

Je désire aussi souligner la compréhension et le soutien de ma famille et de mes amis, qui m'ont gardée motivée tout au long de la rédaction. Leurs mots d'encouragement et le partage de leur propre expérience personnelle lors de leur rédaction de mémoires et d'essai m'ont aidé à surmonter cette grande étape malgré toutes les embûches.

Finalement, j'aimerais destiner un remerciement spécial à toutes les personnes que j'ai pu côtoyer au fil de mes emplois en environnement et que j'ai consultés pour certaines parties de mon essai. Les informations qu'elles ont accepté de partager avec moi étaient passionnantes et ont solidifié mon désir de progresser dans une carrière en conservation.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
1. MISE EN CONTEXTE	3
1.1 Qu'est-ce qu'une espèce exotique envahissante?	4
1.1.1 Définir l'aspect envahissant	5
1.1.2 L'aspect exotique	7
1.2 Histoire du nerprun.....	7
1.3 Portrait de la distribution du nerprun au Québec	8
2. LA BIOLOGIE DU NERPRUN	10
2.1 Développement et reproduction	10
2.1.1 Fruits et graines.....	11
2.1.2 Établissement des pousses	12
2.2 Habitat.....	13
2.3 Parasites, maladies et prédation	15
2.4 Réponses aux manipulations anthropiques.....	15
3. BIOGÉOGRAPHIE DU QUÉBEC.....	17
3.1 Facteurs abiotiques.....	18
3.1.1 Climat	18
3.1.2 Géologie et pédologie.....	19
3.2 Facteurs biotiques et populations végétales	22
3.3 Le nerprun au Québec	23
3.4 Changements climatiques.....	24
4. LES IMPACTS DU NERPRUN SUR L'ÉCOSYSTÈME	26
4.1 Modification de l'écosystème	26
4.2 Diminution de la richesse spécifique	28
4.3 Biens et services écosystémiques	29

4.4 Relations avec les autres espèces exotiques	31
4.5 Relations avec la faune	33
5. ANALYSE DES FACTEURS	35
5.1 Méthodologie.....	35
5.2 Analyse des facteurs	40
5.2.1 Catégorie A. Biologie du nerprun.....	40
5.2.2 Catégorie B. Environnement.....	43
5.2.3 Catégorie C. Autres	45
5.3 Résultats de l'analyse.....	47
6. DÉVELOPPER UN PLAN D'ACTION	50
6.1 Qu'est-ce qu'un bon plan d'action?.....	50
6.2 Conséquences de l'inaction	52
6.3 Recommandations pour un plan d'action.....	53
7. RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES	54
CONCLUSION.....	56
RÉFÉRENCES.....	58

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

Figure 1.1	Barrière, étape et mesure adaptative permettant l'établissement d'une population d'une espèce	6
Figure 1.2	Répartition du nerprun au Québec	8
Figure 2.1	Fruits et feuilles du nerprun cathartique	11
Figure 3.1	Provinces naturelles du Québec selon la biogéographie du territoire	16
Figure 3.2	Classification climatique de Litynski selon la température, les précipitations et la saison de croissance en jours	18
Figure 3.3	La géologie du Québec simplifiée	19
Figure 3.4	Les dépôts de surfaces du Québec.....	20
Figure 3.5	Les populations végétales du Québec selon les classes de végétation	22
Figure 4.1	Catégories formant la valeur économique des biens et services fournis par un écosystème.....	28
Tableau 5.1	Valeur de chacun des critères de sélection pour le programme de contrôle préventif pour différents niveaux d'intensité.....	33
Tableau 5.2	Critères sélectionnés pour l'analyse des facteurs ainsi que leur justification et description.....	34
Tableau 5.3	Facteurs sélectionnés selon les différentes catégories et leur définition.....	35
Tableau 5.4	Résultat de l'analyse des facteurs selon les critères établis et le total.....	45

LISTE DES ACRONYMES

BSE	Bien et service écologique
EEE	Espèce exotique envahissante
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
MELCC	Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
MRC	Municipalité régionale de comté

LEXIQUE

Allogame	Fécondation des fleurs par le pollen d'un autre individu séparé. (Flora Québeca, 2019)
Dioïque	Caractérise une espèce végétale où les fleurs mâles et femelles sont sur deux individus différents. (Flora Québeca, 2019)
Émodine	Molécule ayant des effets nocifs sur la faune et la flore, retrouvée dans toutes les parties du nerprun, mais en plus grande concentration dans les fruits et les graines. (Kurylo et al., 2007)
Endocarpe	Partie interne de la membrane du noyau de la graine. (Flora Québeca, 2019)
Entomophilie	Propagation des graines par l'action d'insectes. (Kurylo et al., 2007)
Litière	Couche de matière organique au sol constituée de feuilles mortes ou de végétaux peu décomposés. (Flora Québeca, 2019)
Naturalisée	Définis une plante qui s'est adaptée à un nouvel environnement d'où elle n'est pas originaire et peut compléter son cycle de reproduction. (Flora Québeca, 2019)
Nerprunaie	Population végétale formée majoritairement de nerprun. (Définition de l'auteure)
Spodique	Type de sol acide retrouvé en milieux colonisé par les conifères. (Lamontagne et Nolin, 1997)
Zoochorie	Propagation des semences de végétaux par l'action de la faune incluant les oiseaux et les mammifères. (Kurylo et al., 2007)

INTRODUCTION

La crise environnementale comprend plusieurs problématiques imposant des pressions sur les écosystèmes du monde entier. Certaines ont des conséquences globales comme les changements climatiques, tandis que d'autres ont des effets observés localement. Parmi ces dernières, on retrouve l'introduction d'espèces exotiques envahissantes (EEE) qui est entièrement causée par des comportements anthropiques. Cet enjeu est d'une grande importance et demande à être géré de façon à limiter ses impacts sur les milieux naturels. L'introduction d'espèces exotiques est un phénomène ne datant pas d'hier. En effet, c'est depuis l'arrivée des premiers explorateurs européens que l'établissement de plusieurs plantes vasculaires étrangères a été observé au Canada et au Québec. (Pelletier, Verreault et Simard, 2012) Certaines plantes exotiques peuvent devenir problématiques lorsqu'elles deviennent envahissantes et ont des impacts négatifs sur l'agriculture, les écosystèmes ou toutes autres activités humaines. (Pelletier, Verreault et Simard, 2012 ; Lavoie, Guay et Joerin, 2014) Au Québec seulement, on retrouve près de 80 espèces exotiques nuisibles, incluant le nerprun dont les effets néfastes sur les écosystèmes indigènes ainsi que sa ténacité aux traitements de contrôle des populations sont particulièrement reconnus. (Lavoie, Guay et Joerin, 2014)

Le nerprun cathartique (*Rhamnus cathartica*) a été introduit en Amérique du Nord dans les années 1800 pour ses qualités d'arbre ornemental. Le nerprun peut prendre la forme d'une haie dense, d'un arbuste ou encore d'un petit arbre à maturité. Il fait aussi preuve d'une grande résilience puisqu'il résiste aux sécheresses ainsi qu'aux milieux partiellement inondés. Tous ces aspects, en plus de sa pousse rapide, ont fait en sorte que cette espèce a été fréquemment plantée par des particuliers pour ses qualités ornementales et par des villes pour créer des brise-vents. (Knight, Kurylo, Endress, Stewart et Reich, 2007) Les qualités qui ont fait du nerprun un arbre ornemental populaire sont les mêmes lui ayant permis d'envahir les écosystèmes du Québec. Une fois l'installation de quelques individus dans un boisé, le nerprun aura tendance à modifier les conditions biotiques et abiotiques de l'écosystème. L'évolution d'une invasion sérieuse peut résulter en une monoculture de nerprun et la disparition de la régénération des autres espèces. (Qaderi, Clements et Cavers, 2009) Cela est particulièrement vrai lorsqu'un milieu naturel est perturbé et offre des ouvertures dans sa canopée. De plus, ses feuilles effectuent la photosynthèse tôt au printemps jusqu'à tard à l'automne ce qui lui offre un avantage sur les autres espèces indigènes ayant un cycle plus court. (Knight, Kurylo, Endress, Stewart et Reich, 2007)

Les observations de nerprun sont surtout concentrées dans le sud du Québec. (Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques [MELCC], 2018) Considérant

que le sud du Québec abrite la majorité de la diversité végétale du Québec, les impacts négatifs du nerprun sur la flore indigène représentent un risque important surtout dans les habitats perturbés par le développement urbain. (Brouillet, 2012) En plus des risques pour l'écosystème, l'établissement du nerprun dans les zones d'aménagement forestier des Cantons-de-l'Est est inquiétant d'un niveau économique. La venue du nerprun pourrait empêcher la régénération des essences exploitées. (Bureau du forestier en chef, 2015) De plus, les procédés de contrôle sont coûteux en temps, en argent et en main d'œuvre. Si les interventions ne sont pas constantes dans le temps, il y a un risque que le nerprun revienne. (Crowell, 2011) Plus une population est installée depuis longtemps, plus il sera long et coûteux de contrôler l'invasion. De plus, les méthodes de contrôle drastiques peuvent être invasives et avoir des impacts importants sur l'environnement. (Delanoy et Archibold, 2007) C'est pourquoi il est important d'implanter des mesures de prévention et de détection d'invasion précoce afin de limiter les coûts et les impacts.

L'objectif de cet essai est d'évaluer les facteurs biologiques et environnementaux favorisant les invasions de nerprun pour produire un plan d'action de gestion préventive en milieux naturels et urbains. La première partie du travail débute par une revue de littérature portant sur la description en détail de la biologie du nerprun en incluant son habitat et son développement. Ensuite, la biogéographie du Québec est décrite par ses facteurs biotiques et abiotiques. La section suivante porte sur les impacts du nerprun sur les écosystèmes ainsi que ses relations problématiques avec d'autres espèces. Dans la deuxième partie du travail, une liste des facteurs pouvant influencer et prédire l'invasion est développée et ceux-ci sont ensuite analysés selon des critères établis dans la méthodologie. Une ébauche de plan d'action préventif a été rédigée en se basant sur les résultats de l'analyse des facteurs afin d'aider les municipalités avec la gestion du nerprun. Pour terminer, des recommandations ont été énumérées.

1. MISE EN CONTEXTE

Au Québec, l'introduction d'espèces exotiques est un concept datant de l'établissement des tout premiers colons européens en territoire canadien. En effet, plus de 82 % des plantes exotiques naturalisées au Québec proviennent de l'Europe. Au 19^e siècle, la quête d'exotisme s'exprime particulièrement lorsqu'on analyse la provenance des plantes ornementales d'extérieur vendues dont la majorité provient d'Europe et d'Asie. (Lavoie, 2019) Ce phénomène se produit mondialement, où plus de 13 000 plantes, soit 3 % des espèces végétales vasculaires, sont naturalisées à l'extérieur de leur aire de répartition native. En observant les flux migratoires anthropiques, il n'est pas étonnant de découvrir que l'Amérique du Nord accueille près de 45 % des espèces exotiques mondiales. Avec l'augmentation des échanges internationaux, il est à prévoir que ce nombre ira en augmentant au cours des prochaines années. (Lavoie, 2019 ; Seebens et al., 2018)

L'est du Canada est particulièrement susceptible aux invasions d'espèces exotiques végétales. En effet, celles-ci apprécient particulièrement les environnements où il y a des activités anthropiques affectant la qualité des milieux naturels. On remarque que les EEE résistent mieux aux pressions anthropiques que la flore locale. Cela entraîne des invasions dans les milieux urbains ainsi que dans les régions agricoles. (Lavoie, 2019) La région du sud du Québec a un paysage fortement influencé par les activités agricoles en plus d'être quadrillé de routes. En plus de faciliter les besoins de transports des citoyens, les chaussées font office d'autoroute favorisant la dispersion des EEE. Ces corridors d'invasion ouvrent la voie à l'établissement de nouvelles populations d'EEE dans des régions qui seraient autrement intouchées. De plus, les fossés de ces routes sont souvent pollués par les sels de déglacage et des nutriments en excès provenant des terres agricoles les bordant. Ces conditions sont défavorables aux espèces indigènes qui cèderont ces territoires aux EEE. Cela devient problématique quand on considère qu'en régions habitées de l'Amérique du Nord il y a toujours une route à moins de 1 km. (Lavoie, 2019) De plus, l'établissement des espèces exotiques est aussi grandement influencé par l'écosystème et les conditions climatiques. En effet, certains écosystèmes sont plus à risque d'invasion, particulièrement lorsqu'ils font face à des perturbations. Par exemple, les champs de soya sont reconnus pour être des vecteurs facilitant l'implantation de toutes sortes d'espèces exotiques envahissantes. Considérant qu'au fil des années, l'agriculture québécoise délaisse le maïs pour le soya, cela augmente les occasions d'implantation de nouvelles espèces envahissantes. (Lavoie, 2019)

La gestion des plantes envahissantes au Québec est plus concentrée sur la protection des plans d'eau aux prises avec des EEE aquatiques, particulièrement le myriophylle à épis (*Myriophyllum spicatum*). Ainsi, on retrouve plusieurs recherches et protocoles de

détection gouvernementaux détaillé traitant de ce sujet, mais il semble avoir une lacune dans le développement d'outils traitant des EEE végétales terrestres. On retrouve plutôt des plans d'action locaux développés indépendamment par les Municipalités régionales de comté (MRC), les villes et des organismes non gouvernementaux. Le manque de communication entre les différentes parties prenantes semble être une embuche à la création d'outils mieux distribués et plus accessibles à la population. (Kremar, 2008) En considérant que la prévention est le meilleur outil pour le contrôle des EEE, il est impératif de mettre à la disposition de tous des outils adaptés axés sur les EEE végétales terrestres permettant de les reconnaître et des guides de bonnes pratiques quant à leur contrôle. (Kremar, 2008)

1.1 Qu'est-ce qu'une espèce exotique envahissante?

Pour commencer, une espèce exotique envahissante doit répondre à plusieurs critères avant d'être correctement identifiée comme telle. En effet, les termes naturalisé, introduit, invasif, mauvaise herbe et exotique sont souvent interchangeables lorsqu'il est question d'une espèce exotique. Il est important de clarifier que les espèces exotiques envahissantes ne représentent qu'une minorité des espèces introduites. (Colautti et MacIsaac, 2004) Au Québec, on retrouverait moins de 90 espèces différentes d'EEE préoccupantes en se basant sur les critères énoncés ci-dessous. (Lavoie, 2019) En effet, la majorité des espèces exotiques est considérée comme étant naturalisée, ce qui implique qu'elles peuvent survivre dans les conditions climatiques du Québec sans pour autant causer des dommages aux écosystèmes ou tout autre impact négatif. Une bonne définition des EEE est impérative afin de mettre en place des mesures de gestion adaptées. (Colautti et MacIsaac, 2004) Cela s'avère complexe, car les adjectifs nuisible ou envahissant sont ouverts à une interprétation subjective dépendante de la personne qui les utilise et du contexte. Par exemple, on peut qualifier de nuisible une plante ayant des effets nocifs sur les humains comme la berce du Caucase, qui cause des brûlures sévères, ou encore une plante ayant peu ou pas d'impact comme le pissenlit qui se limite à affecter l'esthétisme des pelouses. (Ricciardi et Cohen, 2007) De plus, certaines plantes pourtant indigènes peuvent être définies comme nuisibles à l'homme, empêchant ainsi de mettre toutes les espèces considérées comme étant nuisibles dans la même catégorie que les EEE. Le meilleur exemple est l'herbe à puce, une plante indigène du Québec causant des réactions urticantes au contact de la peau. (Lavoie, 2019)

Il faut s'attarder non seulement aux nuisances causées aux humains, mais aussi à celles causées aux écosystèmes locaux. Sinon, la définition pourrait ne pas être adaptée aux conséquences dues à une véritable espèce exotique envahissante et aux coûts économiques et environnementaux qu'une invasion peut entraîner. (Colautti et MacIsaac, 2004 ; Ricciardi et Cohen, 2007) Il est important de

souligner qu'il est toujours complexe de prendre en compte les impacts qu'aura une nouvelle espèce introduite. Même si celle-ci possède les caractéristiques nécessaires pour une invasion massive, il est impossible de prévoir l'importance de l'invasion et les enjeux qui seront soulevés ainsi que leur sévérité. Cela rend difficile l'imposition de réglementation permettant de limiter l'introduction de nouvelles EEE. Il faut faire une distinction entre les espèces exotiques introduites dites naturalisées et les espèces envahissantes causant des dommages. Ainsi il est judicieux d'effectuer des recherches sur les impacts des véritables EEE afin de les classer dans une catégorie à part ce qui permet une meilleure gestion à long terme. (Ricciardi et Cohen, 2007)

1.1.1 Définir l'aspect envahissant

La définition la plus problématique est celle du terme « envahissant ». Certaines espèces indigènes peuvent exprimer des dynamiques de population envahissantes comme la verge d'or (*Solidagosp.*) qui a tendance à former des monocultures dans les espaces ouverts. Toutefois, une espèce locale évolue depuis plusieurs millénaires dans son environnement où des prédateurs ainsi que des maladies coexistent et contrôlent ainsi ces populations. (Weber, 1998) Il ne serait donc pas pertinent de déclarer des plans d'action pour contrôler la verge d'or en Amérique du Nord. Dans le cas du nerprun, il forme aussi des monocultures denses, mais, puisque l'écosystème n'est pas adapté à ce nouvel arrivant, les pressions de prédation et les maladies sont quasiment inexistantes. L'absence de mécanismes de contrôle naturels est sans aucun doute l'une des caractéristiques les plus importantes des espèces à potentiel invasif. (Colautti et MacIsaac, 2004)

À ce jour, il est toujours difficile de poser une définition générale et précise du niveau d'invasion pour qu'une espèce soit considérée comme une EEE. Par contre, certaines caractéristiques biologiques d'une espèce peuvent mener à ce diagnostic. Déjà, un élément commun aux EEE est une reproduction rapide et efficace. Que ce soit par un nombre extrême de propagules (graines), une longue floraison ou une reproduction asexuée rapide, une capacité de prolifération rapide est un signe à surveiller chez des espèces naturalisées. (Colautti et MacIsaac, 2004 ; Lavoie, 2018) Un haut pourcentage de survie est aussi à surveiller. Si les propagules ne survivent pas ou n'atteignent pas la maturité reproductive, les chances que l'espèce devienne invasive sont faibles. La forte survie d'une espèce dans un environnement inconnu peut être causée par des mécanismes d'adaptations évolutives. En effet, pour s'adapter aux conditions d'un nouvel écosystème, des espèces comme le nerprun vont changer leurs formes en modifiant ainsi leurs caractéristiques exprimées que l'on nomme phénotype. Plus une plante a une grande variation de phénotypes, plus elle est à risque de devenir envahissante, puisqu'elle peut s'adapter à des conditions variées. (Prentis et al., 2008) Les EEE peuvent alors s'accaparer des nutriments du sol et effectuer une photosynthèse plus efficace,

leur donnant ainsi un net avantage. (Lavoie, 2018) Plusieurs autres mécanismes génétiques ont été observés comme l'hybridation ou la polyploïdie chez d'autres espèces. Grâce à une seule ou une combinaison de ces caractéristiques, les barrières environnementales ou biologiques pouvant empêcher l'étalement des populations peuvent être conquises. (Prentis et al., 2008) L'établissement d'une nouvelle espèce exotique envahissante suit donc des étapes selon son adaptabilité ainsi que les barrières auxquelles elle est confrontée. (figure 1.1) Toutefois, la présence de ces caractéristiques chez une espèce n'est pas nécessairement un gage d'une EEE. En effet, si elle ne survit pas aux conditions environnementales des territoires québécois comme les froids intenses et le gel du sol, elle ne pourra pas s'y établir et former des populations. (Lavoie, 2019)

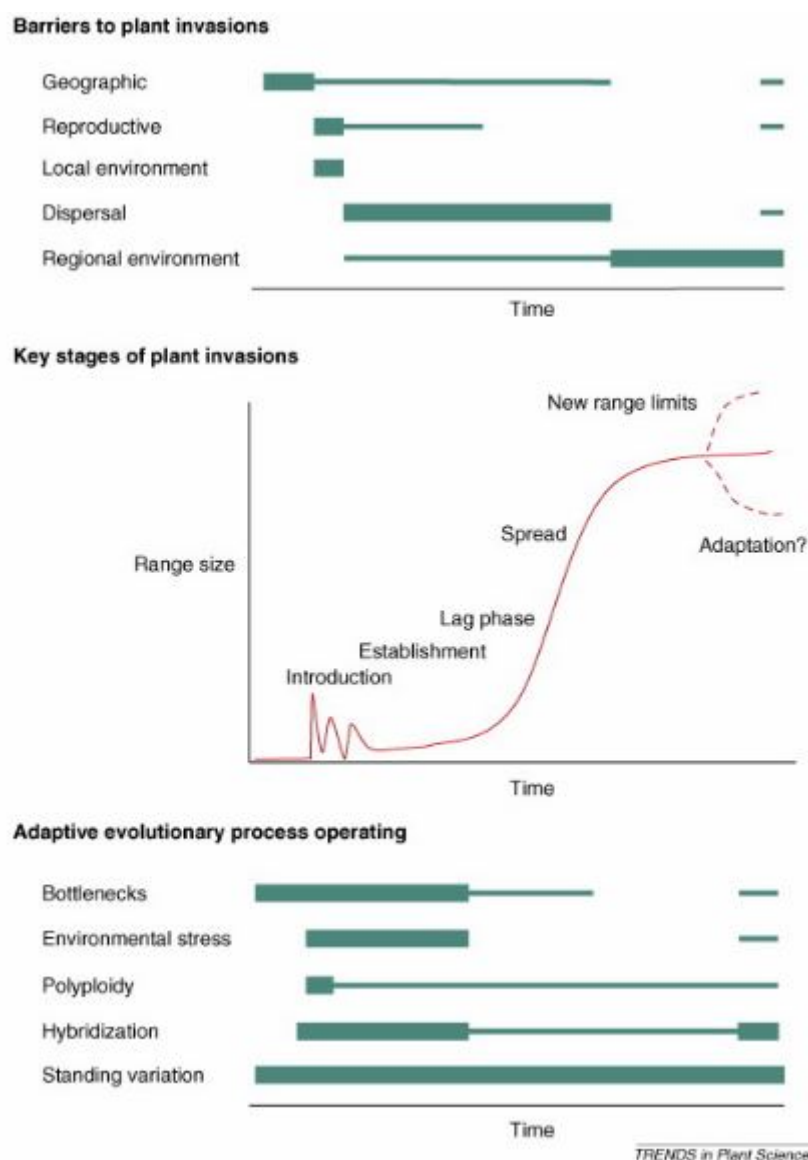


Figure 1.1 Barrières, étape et mesure adaptative permettant l'établissement d'une population d'une espèce.(Tiré de : Prentis et al.,2008)

1.1.2 L'aspect exotique

En plus d'être qualifiée d'envahissante, une espèce doit absolument être une espèce introduite. Ainsi, elle doit provenir d'un autre écosystème. Par exemple, si on reprend l'exemple de la verge d'or, son introduction en Europe cause des problématiques où elle est devenue néfaste pour les écosystèmes en formant de grandes colonies de monoculture sans aucun agent de contrôle naturel qui sont eux restés en Amérique. (Weber, 1998) Une introduction peut être causée par un événement naturel comme le transport de graines par les oiseaux migrateurs ou encore le vent. Toutefois, les cas d'invasions problématiques que l'on connaît sont causés par les activités anthropiques. (Colautti et MacIsaac, 2004) Historiquement, les introductions d'espèces exotiques sont surtout volontaires, causées par les colons et les immigrants désirant établir les plantes de leurs terres natales pour profiter de leurs particularités. Certaines plantes sont importées pour leurs propriétés médicinales, comme la consoude officinale (*Symphytum officinale*) ou encore pour procurer une source alimentaire stable. (Lavoie, 2019) D'autres introductions sont motivées tout simplement par l'attrait ornemental comme celui du nerprun dont la vitalité et les qualités esthétiques étaient prisées par les colons venus d'Europe. (Qaderi, Clements et Cavers, 2009) Parfois, les invasions sont accidentelles, ce qui est le cas de l'agrile du frêne, une EEE qui ravage les frênes de l'Amérique du Nord et qui est soupçonnée d'avoir été transportée d'Asie dans des palettes de bois servant au transport de marchandises. (Cappaert et al., 2005)

1.2 Histoire du nerprun

Rhamnus cathartica est indigène au continent européen ainsi qu'au nord et à l'est de l'Asie. Les colons ont volontairement introduit cette plante à des fins ornementales en Amérique du Nord. C'est au début des années 1850 que le nerprun aurait été popularisé en Ontario. Depuis, la naturalisation de cette espèce a été observée au travers le Canada. C'est en 1915 qu'un individu de nerprun naturalisé a été enregistré pour la première fois au Québec. Puisque sa propagation est rapide et facile, le nerprun a été planté massivement comme haie décorative et brise-vents. De plus, sa structure compacte et sa haute résistance aux aléas climatiques en ont fait un arbuste de choix à bon prix. Toutefois, cette capacité d'adaptation, couplée à une compétition agressive avec la flore indigène, explique sa qualification en tant qu'espèce exotique envahissante. (Qaderi, Clements et Cavers, 2009)

Historiquement, le nerprun a aussi été utilisé pour les propriétés médicales des différentes parties de la plante. À partir des fruits et de l'écorce, il est possible de produire des traitements purgatifs particulièrement en médecine vétérinaire. En effet, les fruits murs contiennent des concentrations d'un composé anthracène ayant des propriétés laxatives. Par contre, l'ingestion accidentelle des fruits engendre des empoisonnements présentant des symptômes variant des maux d'estomacs, à la diarrhée jusqu'à l'irritation des muqueuses gastro-intestinales pouvant causer des saignements. Toutefois, les empoisonnements sont rares, car les fruits dégagent une odeur âcre et déplaisante et leur consommation laisse un goût amer et irrite la surface de la langue. C'est pourquoi le nerprun est classifié comme étant peu toxique impliquant qu'il faut consommer plus de quatre fruits pour pouvoir observer des symptômes. (Qaderi, Clements et Cavers, 2009)

Le nerprun a aussi été utilisé comme teinture en exploitant des composants ayant une coloration jaunâtre ou safranée. En ajoutant d'autres composants, il est possible d'obtenir des couleurs verdâtres. Ces teintures peuvent être appliquées à une grande variété de tissus et sont appréciées pour leur rapidité d'action. (Qaderi, Clements et Cavers, 2009)

1.3 Portrait de la distribution du nerprun au Québec

Les populations naturalisées de nerprun sont retrouvées particulièrement dans l'est de l'Amérique du Nord. Elles s'étendent aux limites nord des États-Unis pour franchir les territoires de l'est du Canada. Au Québec, les invasions importantes sont concentrées au sud de la province, particulièrement dans la grande région métropolitaine de Montréal comme illustré dans la figure 1.2. (Lavoie, 2019) On le retrouve autant en milieu boisé qu'en bordure de champs et de route. Certaines populations sont des sources majeures de banque de graines comportant des individus matures d'un âge avancé. Considérant que le nerprun est installé au Québec depuis plus de 100 ans, il n'est pas étonnant de découvrir des populations ayant des individus âgés de plus de 50 ans. (Observations personnelles, Favreau-Leclerc, 2018 ; Lavoie, 2019) Ceux-ci deviennent des producteurs de graines importants et sont souvent accompagnés de leur progéniture formant ainsi de vastes monocultures. Les modèles prédisent que l'avancement des populations se ferait vers le nord, car le nerprun préfère les climats tempérés aux conditions tropicales. (Kurylo et al., 2007) Au Canada, le nerprun ne fait pas partie des EEE interdites par la loi. Cela implique que la vente et la reproduction de plants de nerprun ne sont pas prohibées ce qui peut causer de nouveaux foyers d'invasion dus à un manque de vigilance et de connaissances des citoyens. (Lavoie, 2019)

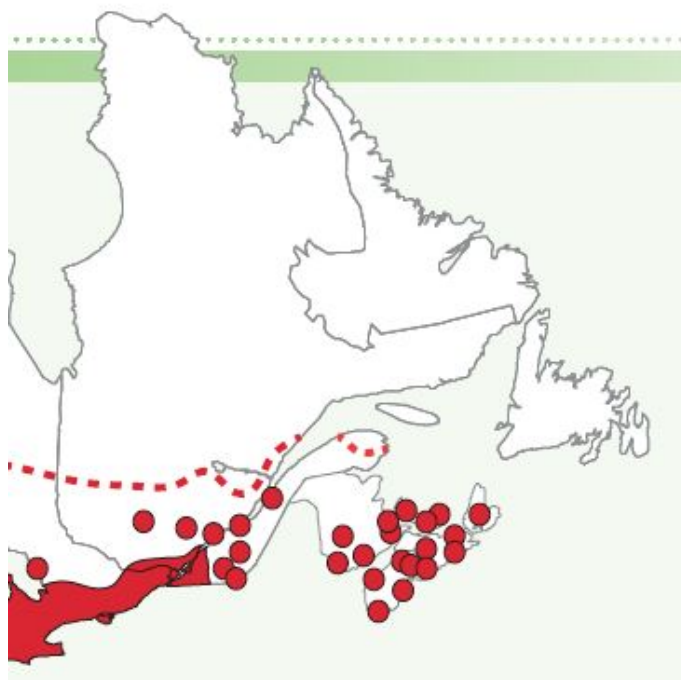


Figure 1.2 Répartition du nerprun au Québec (tiré de : Lavoie, 2019)

2. LA BIOLOGIE DU NERPRUN

Le genre *Rhamnus* est l'un des onze genres de la famille des Rhamnaceae. (Kurylo et al., 2007) Cette famille est reconnue pour regrouper des espèces hautement adaptables, pouvant survivre aux conditions difficiles, comme des sols pauvres ou un climat coriace. Mondialement, on retrouve la majorité du genre *Rhamnus* dans l'hémisphère nord. (Stevens, 2017 ; Kurylo et al., 2007)

Le nerprun cathartique est un arbuste pouvant mesurer jusqu'à 9 mètres. Dans les conditions climatiques du Québec, sa taille moyenne est de 4 mètres. On le reconnaît à ses feuilles d'un vert foncé lustré ayant 3 à 5 nervures archées et profondes. On reconnaît facilement les branches par des épines à l'aisselle de l'extrémité de la branche. Toutefois, plusieurs caractéristiques d'identification sont variables. Les feuilles sont habituellement opposées, mais peuvent parfois adopter une disposition alterne. Elles ont des bordures dentelées à presque lisses et se terminent par une pointe. La forme des feuilles varie entre oblongue à légèrement ovale et la base est habituellement ronde ou acuminée. Les jeunes feuilles sont vert tendre et minces pour ensuite s'épaissir et prendre une couleur plus foncée. (Qaderi, Clements et Cavers, 2009)

2.1 Développement et reproduction

Les plants de nerpruns sont réputés pour leurs productions massives de matière organique, particulièrement par leur feuillage décidu dense. Les feuilles poussent tôt au printemps et demeurent plus longtemps sur les branches : jusqu'en novembre, passé la période de perte des feuilles des arbres et arbustes indigènes. (Qaderi, Clements et Cavers, 2009) Ainsi, on observe une période de photosynthèse s'étendant de la mi-mai à la fin de l'automne. Cela lui procure un avantage majeur sur les autres espèces comme le frêne qui tarde à obtenir ses feuilles jusqu'en juin.

Les plants sont dioïques ce qui implique que chaque individu ne porte qu'un sexe. La présence de spécimens mâles et femelles dans les mêmes environs est donc nécessaire à sa reproduction. Celle-ci est donc obligatoirement allogame, puisque l'autofécondation n'est pas possible. On a trouvé certains cas d'exception avec un individu ayant des fleurs hermaphrodites qui avaient les caractéristiques mâles et femelles, soit les pistils et les étamines. Ce dimorphisme peut mener à la production de fruits sur un plant mâle, mais cela reste des cas rares. Dans les cas normaux, les deux sexes se développent en deux sous-formes. Ils peuvent être d'une forme allongée ou courte. Les fleurs sont pollinisées par entomophilie où les insectes effectuent la majorité de la dispersion du pollen. (Qaderi, Clements et Cavers, 2009) Dans le climat du sud de l'Ontario, la floraison débute généralement à la fin du mois d'avril et au début mai et se poursuit jusqu'à la mi-juin. En territoire plus nordique et maritime, la floraison et la fructification sont plus tardives.

2.1.1 Fruits et graines

Les fruits du nerprun sont des drupes contenant en moyenne quatre graines (Figure 2.1). Ils peuvent toutefois comprendre entre deux et cinq semences. En général, seulement une graine est viable dans le fruit, mais la deuxième a jusqu'à 35 % de chance de survie. Les semences comptent pour 34 à 62 % du poids de la drupe. La dispersion des graines se fait majoritairement par zoochorie, les oiseaux et mammifères consommant les fruits. (Qaderi, Clements et Cavers, 2009) Les espèces aviaires sont les principaux vecteurs de dispersion par zoochorie. Les fruits sont produits en quantité massive sur un individu femelle mature et peuvent rester sur l'arbre durant plusieurs mois même en hiver, offrant une source de nourriture. Par contre, la majorité des fruits tombe directement sous l'arbre. (Archibold et al. 1997) Il a été observé que les fruits fraîchement tombés de l'arbre flottent durant plusieurs heures dans des eaux calmes et pendant près de 30 minutes dans des eaux agitées. Cela implique que la dispersion par hydrochorie est également possible si les individus reproducteurs sont situés près d'un cours d'eau.

Une fois les graines disséminées dans l'environnement, elles ont un taux de survie élevé. De plus, les graines peuvent entrer en dormance afin d'attendre des conditions plus favorables à leur germination. La moyenne de survie est de deux ans, mais des observations suggèrent que la survie pourrait être de plusieurs années. Les banques de graines peuvent atteindre une densité impressionnante particulièrement sous les individus femelles de grande taille. On peut retrouver plus de 600 semences par mètre carré (m²) et l'émergence des jeunes pousses atteint en moyenne 111 pousses par m² sur une année. Il a été observé que les graines restant dans les fruits tombés au pied de l'arbre ont une germination plus lente et survivent plus longtemps aux conditions externes. La décomposition naturelle de la chaire de la drupe permet ensuite aux graines de germer. De plus, l'hivernation des graines augmente le taux de germination ce qui confirme qu'une période de dormance froide est bénéfique au nerprun. Il semble que les graines n'aient pas d'exigence en ce qui concerne la lumière. En effet, on observe l'émergence des jeunes pousses malgré une couche de litière dense d'une épaisseur de plus de 5 cm. Le nerprun ne peut pas effectuer de reproduction végétative et dépend entièrement des processus de reproduction sexuée. (Qaderi, Clements et Cavers, 2009)



Figure 2.1 Fruits et feuilles du nerprun cathartique (tiré de : Lavoie, 2019)

2.1.2 Établissement des pousses

L'émergence des jeunes pousses est majoritairement très tôt au printemps (en mai), et peut se faire aussitôt qu'en avril, mais aussi en septembre selon les conditions. L'émergence des pousses de nerprun avant celle des arbres et arbustes indigènes favorise leur croissance en exploitant en exclusivité la luminosité intense du printemps. Cela s'explique par un endocarpe, ou la coque solide protégeant la graine, plus mince que la majorité des autres espèces ce qui facilite une émergence hâtive. La germination est meilleure lorsque les graines sont déposées au niveau du sol, ce que l'on appelle une germination épigée. Cependant, la germination peut se faire même si les graines sont enfouies sous la litière. À la suite d'une étude de Knight (2006), il a été observé que la croissance des nouvelles pousses est favorisée lorsqu'elles sont situées près d'un individu adulte. Cela sous-entend l'existence d'un mécanisme d'échanges ou de modification de l'habitat par le nerprun qui favorise la germination de ses graines. La croissance commence par l'émergence des deux cotylédons, soit les premières feuilles de la plante, en forme de cœur. Ceux-ci restent attachés au plant durant plusieurs mois fournissant une grande quantité d'énergie au semis ce qui permet une

croissance accélérée. En condition optimale, les gaules peuvent avoir une croissance de deux mètres de hauteur par année. Les plants matures adaptent leurs formes selon les conditions de leur environnement. En environnement ouvert, ils seront plutôt longs et effilés tandis que dans un habitat densément peuplé d'autres espèces compétitives ils adopteront plutôt une forme trapue et courte. (Qaderi, Clements et Cavers, 2009) La durée de vie du nerprun n'a jamais été testée, mais certains individus peuvent vivre jusqu'à 55 ans. Dans un peuplement en succession avancée vers une monoculture de nerprun, on retrouve des individus variant de 25 ans à 40 ans. (Observations personnelles, Favreau-Leclerc 2018)

2.2 Habitat

La dynamique des populations de nerprun cathartique démontre que cette espèce adopte un comportement d'opportuniste en profitant des ouvertures dans les forêts, combinées à une pousse hautement compétitive, voire agressive en comparaison des espèces indigènes du sud du Québec. On retrouve des populations dans une grande variété d'habitats ce qui témoigne de son impressionnante capacité d'adaptation. Malgré tout, son habitat influence de façon importante sa capacité à se reproduire et à s'établir. (Qaderi, Clements et Cavers, 2009) Les facteurs influençant sa distribution sont majoritairement : les propriétés du sol, l'humidité, le niveau de perturbations, l'urbanisation, etc. (Kurylo et al., 2007) Les conditions abiotiques limitant le nerprun sont les nutriments et les types de sols. Il faut préciser que malgré cela, le nerprun a une grande flexibilité comparée aux espèces indigènes.

Tout d'abord, l'établissement se fait dans les sols riches en nutriments, mais tolère un sol ayant une quantité plus limitée de nutriments. (Kurylo et al., 2007) De plus, les caractéristiques physiques des sols peuvent influencer l'émergence des graines. Par exemple, un sol plus compact diminuerait de près du quart la germination de la banque de graines. Toutefois, avec une moyenne de 74 semis par m², le nerprun reste plus efficace en situation difficile par rapport aux espèces indigènes. (Archibold et al., 1997) On observe une certaine capacité d'adaptation au niveau du pH des sols. En effet, le nerprun est une espèce qui semble calciphile, ce qui implique qu'elle s'établit sur des sols ayant un pH basique. Cependant, des expérimentations en conditions plus acides ont démontré que le système racinaire du nerprun peut s'adapter en restant près de la surface du sol, lui permettant ainsi de s'établir potentiellement sur des territoires semblant moins favorables. (Godwin, 1943) Il a toutefois été observé que des grandes populations de nerprun s'établissaient en sols alcalins près des Grands Lacs au Canada et aux États-Unis ce qui démontre une préférence pour les sols basiques. (Kurylo et al., 2007) Plus d'études sont nécessaires afin de déterminer si les conditions acides peuvent influencer

ou non l'établissement du nerprun, particulièrement si on prend en compte la capacité du nerprun à modifier son habitat. (voir section 4.1)

Dans les régions natives du nerprun, on le retrouve dans les plaines ouvertes ou en bordure de forêts et rarement à l'intérieur des boisés. Par contre, quand on analyse son développement en régions envahies, on le retrouve massivement en milieu ombragé à l'intérieur des boisés. Il semble que la faible luminosité ne soit pas un obstacle. En effet, le taux de survie des gaules varie de 80 à 100 % en conditions de faible luminosité soit moins de 2 % des rayons de soleil. (Grubb et al., 1996) Malgré la survie des gaules, la croissance et le développement sont grandement ralentis par un manque important de lumière. La biomasse produite est deux fois moins grande en situation d'ombrage important. Cela explique pourquoi on retrouve les grandes populations denses de nerprun dans les milieux ayant une luminosité au sol plus grande. L'établissement de nouveaux semis est souvent observé au pied d'arbres matures. Si les conditions sont fortement ombragées, les semis finissent par dépérir au fil du temps sans qu'une nouvelle population de nerprun ne s'établisse. (Qaderi, Clements et Cavers, 2009) Cela pourrait indiquer que les invasions de nerprun seraient ralenties par des forêts dominées par les érables (*Acer* sp.) et des conifères (*Pinus* sp., *Picea* sp. et *Abies* sp.) qui apportent des conditions d'extrême ombrage au sol. (Kurylo et al., 2007) La forte résistance à la faible luminosité serait liée à la forte concentration de nitrates dans les feuilles du nerprun.

En plus d'avoir une forte tolérance à l'ombre, le nerprun est aussi peu sélectif en ce qui concerne l'humidité des sols où il s'établit. Malgré une certaine préférence pour les sols mésiques et bien drainés, on le retrouve tout de même abondamment dans des habitats plus humides. Les sols mal drainés, mais non saturés, démontrent une forte germination des graines et un taux de survie important des gaules. Par contre, en sols partiellement inondés ou saturés d'eau, on observe une diminution de la croissance et une baisse de la photosynthèse. (Kurylo et al., 2007) Plusieurs études ont démontré que le nerprun préfère les milieux mésiques, d'humidité médiane, aux milieux humides, mais plusieurs témoignages provenant du nord central des États-Unis ont assuré que l'espèce pouvait envahir des milieux hydriques comme les marécages ou les rives. De plus, les études démontrent qu'il y a peu d'établissements de populations de nerprun en sols sablonneux et secs. En effet, les prairies sèches de l'ouest du Canada n'ont aucune invasion de nerprun à signaler. En observant les populations natives de nerprun, on note que les populations d'Angleterre forment des monocultures en milieux marécageux alors que celles retrouvées sur le continent européen évitent les milieux humides. Considérant que les individus introduits en Amérique du Nord provenaient majoritairement des populations d'Angleterre, il est possible qu'un écotype plus tolérant aux

conditions hydriques soit présent. Il n'y a toutefois aucune recherche scientifique ayant prouvé cette hypothèse. (Qaderi, Clements et Cavers, 2009)

2.3 Parasites, maladies et prédation

Les drupes et le feuillage du nerprun sont consommés par plusieurs animaux comme les oiseaux, des mammifères et des insectes. En Amérique du Nord, on observe que les cerfs de Virginie peuvent consommer les feuilles sous certaines conditions. Si le cerf doit choisir entre le nerprun et des conifères tel le thuya, il aura tendance à choisir le nerprun si l'environnement lui offre une aire de pâturage couverte et protégée des prédateurs. Sinon, les oiseaux comme le jaseur d'Amérique (*Bombycillacedrorum*) et le merle d'Amérique (*Turdus migratorius*) consomment une grande quantité des fruits, mais majoritairement au printemps ou à l'hiver lorsqu'il n'y a pas d'autre source abondante de nourriture disponible. Les fruits immatures ainsi que le feuillage et les racines du nerprun contiennent des concentrations d'émodine, une molécule qui dissuade la consommation de la plante par les prédateurs. (Tsahar, Friedman et Izhaki, 2002) C'est en partie pourquoi il semble que le nerprun n'ait aucun prédateur spécifique. Les insectes s'attaquant aux arbustes sont rares et non spécifiques. Au Québec, on a observé que quelques espèces comme la punaise verte (*Acrosternum hilare*), la punaise de Say (*Chlorochroasayi*) et les chenilles à tentes (*Malacosoma americana*) consommaient le nerprun. Ce faible nombre d'espèces s'explique par l'arrivée récente du nerprun au niveau évolutif, ce qui implique que les espèces locales ne s'y sont pas adaptées. (Qaderi, Clements et Cavers, 2009)

Le nerprun est l'hôte secondaire de la rouille couronnée (*Puccinia coronata*), une maladie fongique qui tue les feuilles sans toutefois tuer le plant. Le cycle de vie de ce champignon est particulièrement nocif pour les cultures de graminées comme l'orge et l'avoine, car la perte des feuilles affecte grandement leur croissance et leur résistance aux conditions extrêmes. Les spores du champignon passent la première moitié de leur cycle de vie sur les feuilles de nerprun n'affectant que peu ou pas sa croissance, pour ensuite se propager aux cultures adjacentes. Les infections importantes des champs de céréales peuvent engendrer des pertes économiques majeures pour les cultivateurs. (Labbé, 2018 ; Qaderi, Clements et Cavers, 2009)

2.4 Réponses aux manipulations anthropiques

Plusieurs méthodes de contrôle du nerprun ont été testées au fil des années. Pour commencer, les incendies contrôlés ont montré des résultats peu encourageants où les souches calcinées produisaient des rejets vigoureux. Les perturbations intenses des feux affectent aussi la flore indigène qui se retrouve alors dans un environnement hautement désorganisé où le nerprun est à

son avantage. Une autre solution était le bulldozage de populations de nerprun ayant éliminé la quasi-totalité de la flore d'origine. Les interventions avec la machinerie lourde étaient effectuées en bordure de champs où le nerprun formait des monocultures denses. Le bulldozage couplé avec des agents chimiques comme du chlorate de sodium appliqué au sol amenait des résultats satisfaisants, mais ces interventions sont hautement invasives et non applicables à un milieu naturel boisé. Des coupes sélectives ont donc été effectuées où les troncs étaient sectionnés à leur base le plus près possible du sol. Cette méthode de contrôle n'est que temporaire puisqu'elle a le même effet que l'incendie contrôlé : les souches produisaient des rejets vigoureux. De plus, l'ouverture de la canopée encourage la germination de la banque de graines qui peut atteindre des volumes impressionnants tels que mentionné précédemment. Des méthodes ont aussi démontré que l'application d'un paillis épais pour étouffer les jeunes pousses avait des résultats controversés semblant être efficaces seulement pour les 2 premières années. (Iannone et al., 2013)

D'autres méthodes jumelant les interventions physiques avec des herbicides et autres produits chimiques ont eu quelque succès. Par exemple, l'application de glyphosate sur les troncs ayant été coupés réduit de 94 % le nombre de souches produisant des rejets. (Qaderi, Clements et Cavers, 2009) En revanche, l'utilisation du glyphosate peut être problématique, surtout à cause de la résistance du public face à son utilisation. (Allard-Huver, 2016) Selon les études par Archibold et al. (1997) et Heindorn (1991), l'utilisation du triclopyr sur l'écorce de la base des nerpruns n'ayant pas été coupés réduisait de 70 % la croissance des individus traités. Cela permet d'éliminer la tâche coûteuse en temps et en argent de la coupe des arbres. Selon Pergams et Norton (2006), les meilleures techniques de contrôle sont la combinaison de la coupe des troncs et de l'application de glyphosate qui causent la mort de l'individu, éliminant ainsi les coûts importants reliés à la coupe répétitive des rejets.

Malgré tout, les banques de graines restent une problématique importante qui nécessite l'élimination systématique et ponctuelle des nouveaux semis. Puisqu'il semble impossible d'éliminer de grandes colonies en peu de temps, il est aussi possible de viser les individus femelles produisant les fruits. Ainsi, malgré le fait que la population ne soit pas contrôlée, la reproduction est limitée, ce qui empêche l'ajout de nouvelles graines dans le sol et empêche la dissémination de celles-ci par les oiseaux. (Delanoy et Archibold, 2007) Il faut toutefois prendre de grandes précautions lors de l'application d'herbicides, car ils peuvent affecter la flore indigène en milieux boisés. Une solution pourrait être d'effectuer l'application à l'automne lorsque les espèces locales entrent en dormance et que le nerprun est toujours en développement. (Heindorn, 1991)

3. BIOGÉOGRAPHIE DU QUÉBEC

La province du Québec est une immense région ayant une superficie de 1,6 million de kilomètres carrés. Sur ce vasteterritoire, on retrouve une variété de climats, de provinces géologiques et de populations végétales qui forment ensemble la biogéographie du Québec. Ce concept se divise en deux parties, soit les facteurs abiotiques et les facteurs biotiques. Selon ces facteurs, le territoire est divisé en différentes provinces naturelles (figure 3.1).

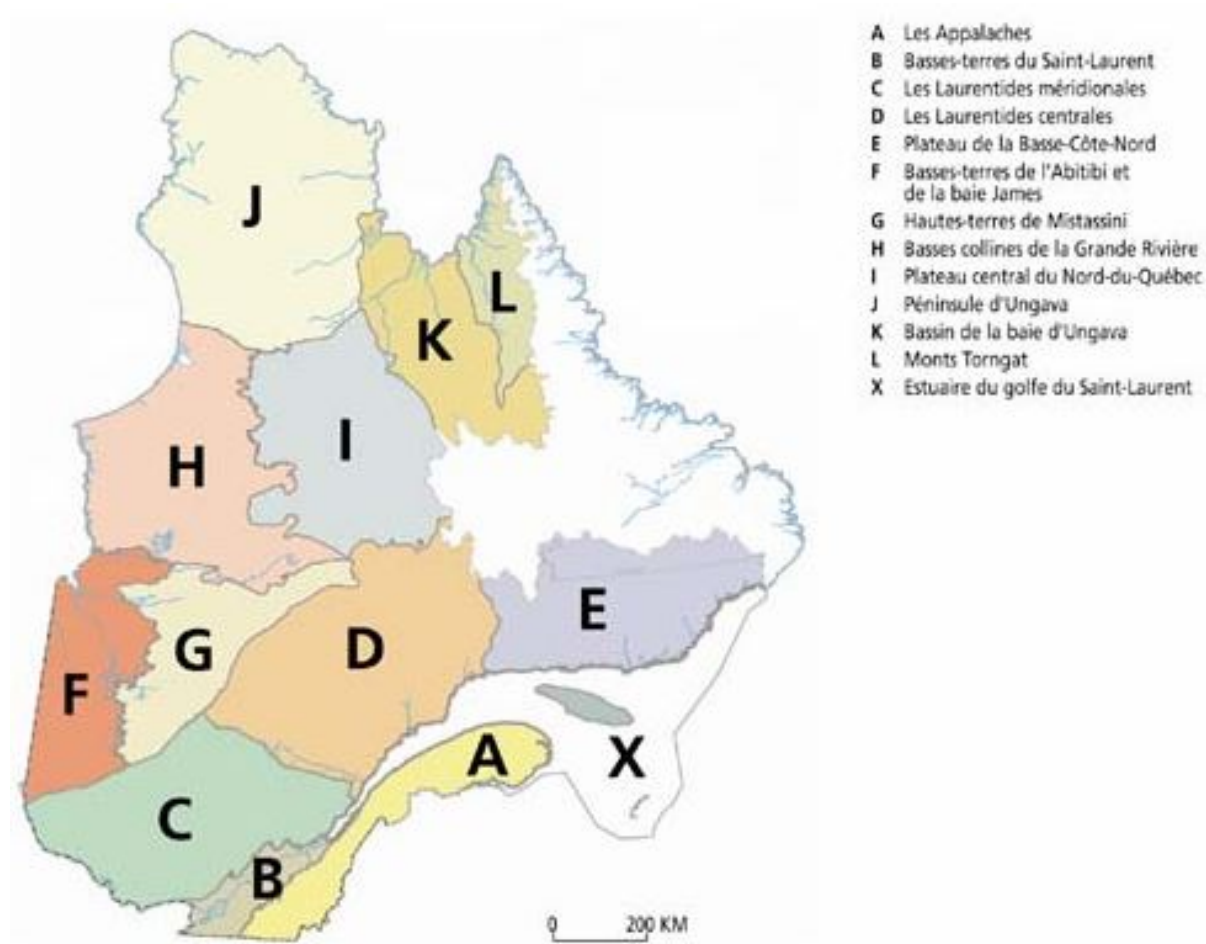


Figure 3.1 Provinces naturelles du Québec selon la biogéographie du territoire (tiré de : MELCC 2019)

Dans le contexte de ce travail, il n'est pas pertinent de discuter des provinces naturelles nordiques (H, I, J, K et L) puisque le nerprun ne se retrouve qu'au sud du Québec pour le moment. En effet, la problématique est majoritairement observée dans les basses-terres du Saint-Laurent (B), l'ouest des Appalaches (A) et dans le sud des Laurentides méridionales (C). L'avancée du nerprun à court et

moyen terme toucherait le nord des Laurentides méridionales et potentiellement les Laurentides centrales (D).

3.1 Facteurs abiotiques

Les facteurs abiotiques regroupent toute caractéristique du territoire n'ayant pas de lien avec le vivant. Même si le vivant en est exclu, il n'en reste pas moins que les variations climatiques et géologiques influencent de manière importante la biodiversité présente selon les secteurs. Le cadre écologique du Québec a été développé par le MELCC en se basant sur plusieurs variables écologiques comme le climat et la géologie. De ceux-ci, le climat est le critère qui est considéré comme étant celui qui influence de manière la plus importante la composition végétale des milieux naturels du Québec. Toutefois, la géologie de la province forme une certaine barrière géologique vu le changement abrupt de type de sol des territoires au Nord. La superposition de ces deux critères apporte un potentiel d'influence important sur l'avancée des EEE et donc sur leur gestion. (MELCC, 2002)

3.1.1 Climat

Le climat du Québec est passablement semblable d'une région à l'autre. Toutefois, on retrouve des variations en ce qui concerne le nord et le sud ainsi que l'est et l'ouest. Comme il est possible d'observer à la figure 3.2, le sud du Québec (les régions 14 et 11) a une saison de croissance beaucoup plus longue, allant jusqu'à 209 jours. Les températures sont aussi notablement plus douces au sud qu'au nord. Il suffit de quitter la région 14 pour observer une diminution de plusieurs degrés de la température moyenne. On passe ainsi de températures modérées (entre 4,5 et 6,6 degrés Celsius) au sud, à subpolaire douce (entre 1,9 et 4,5 degrés Celsius) au centre, pour terminer en température polaire (entre -9,4 et -6,0 degrés Celsius) au nord de la province. Les précipitations ont une mosaïque différente où le sud, jusqu'à la région 13, est semi-humide avec des moyennes annuelles de 800 à 1359 millimètres. À l'exception de la région 12 qui est plus au sud, les régions 8, 9 et 10 ont plus de 1360 millimètres de pluie annuellement. Ensuite, le nord devient graduellement plus sec avec un régime de précipitation variant de modéré à semi-aride. (MELCC, 2002)

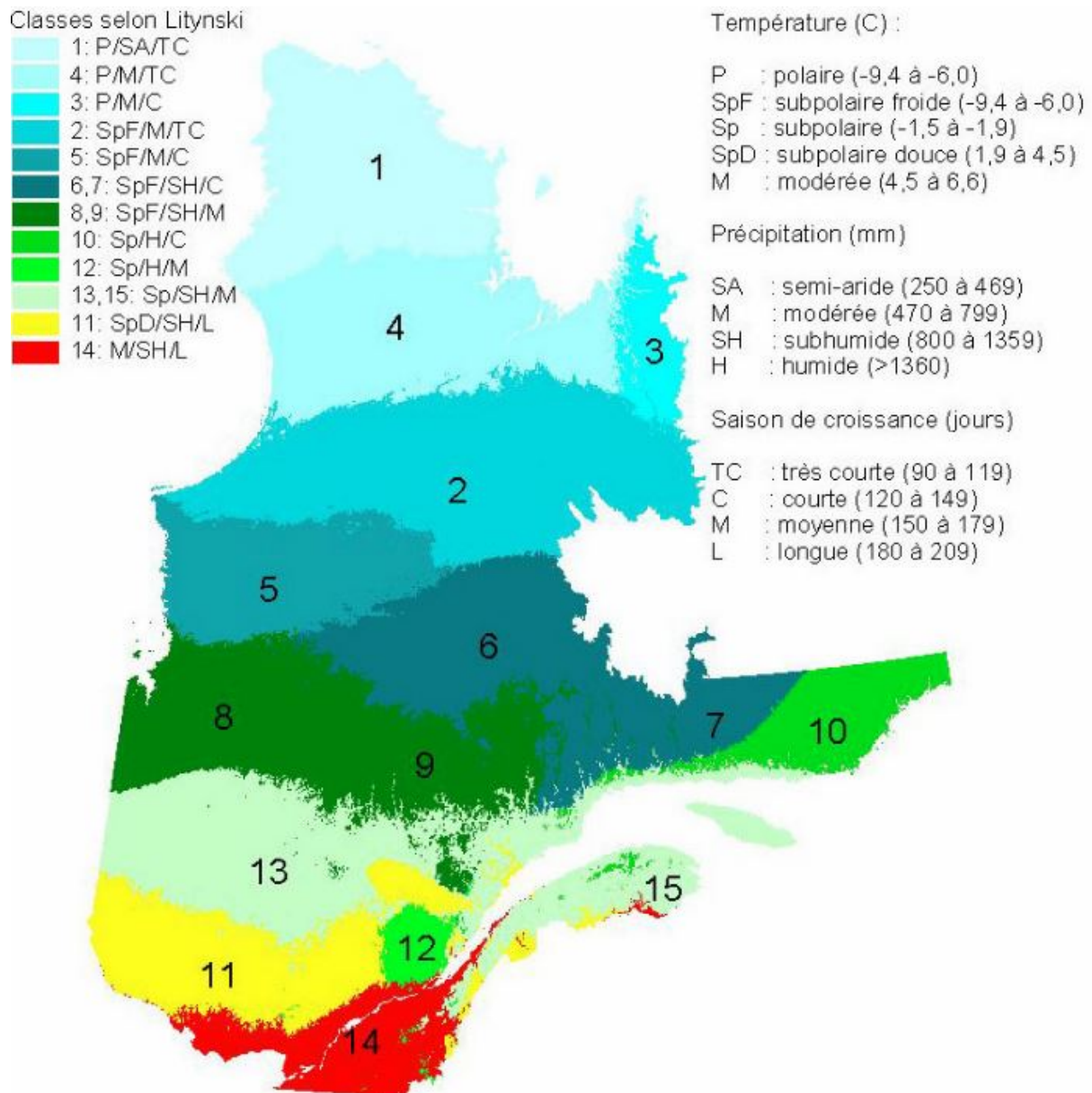


Figure 3.2 Classification climatique de Litynski selon la température, les précipitations et la durée de la saison de croissance en jours (tiré de : MELCC, 2002)

Avec ces données, il est intéressant de remarquer que le sud du Québec, où on observe les populations importantes de nerprun, est une région sous-climatique particulière. On y retrouve effectivement une combinaison de conditions plus clémentes qui sont uniques à cette section de la province.

3.1.2 Géologie et pédologie

Les caractéristiques des sols du Québec sont influencées par deux facteurs importants, soit la composition du sous-sol et les dépôts de surfaces. Il est aussi important de noter que les

caractéristiques des sols sont aussi influencées par les propriétés des roches sous-jacentes, le climat et le type de végétation présent, car celui-ci forme la litière de matière organique. Dans la figure 3.3, les informations importantes à retenir sont que les types de formation rocheuse présentes au sud du Québec sont majoritairement alcalines (jaune et gris pâles) tandis que celles des régions plus au nord sont acides (rose et fuchsia). La formation des roches calcaires de la région des Appalaches et des basses-terres du Saint-Laurent remonte à l'ère paléozoïque (545 - 250 Ma). (MELCC, 2019)

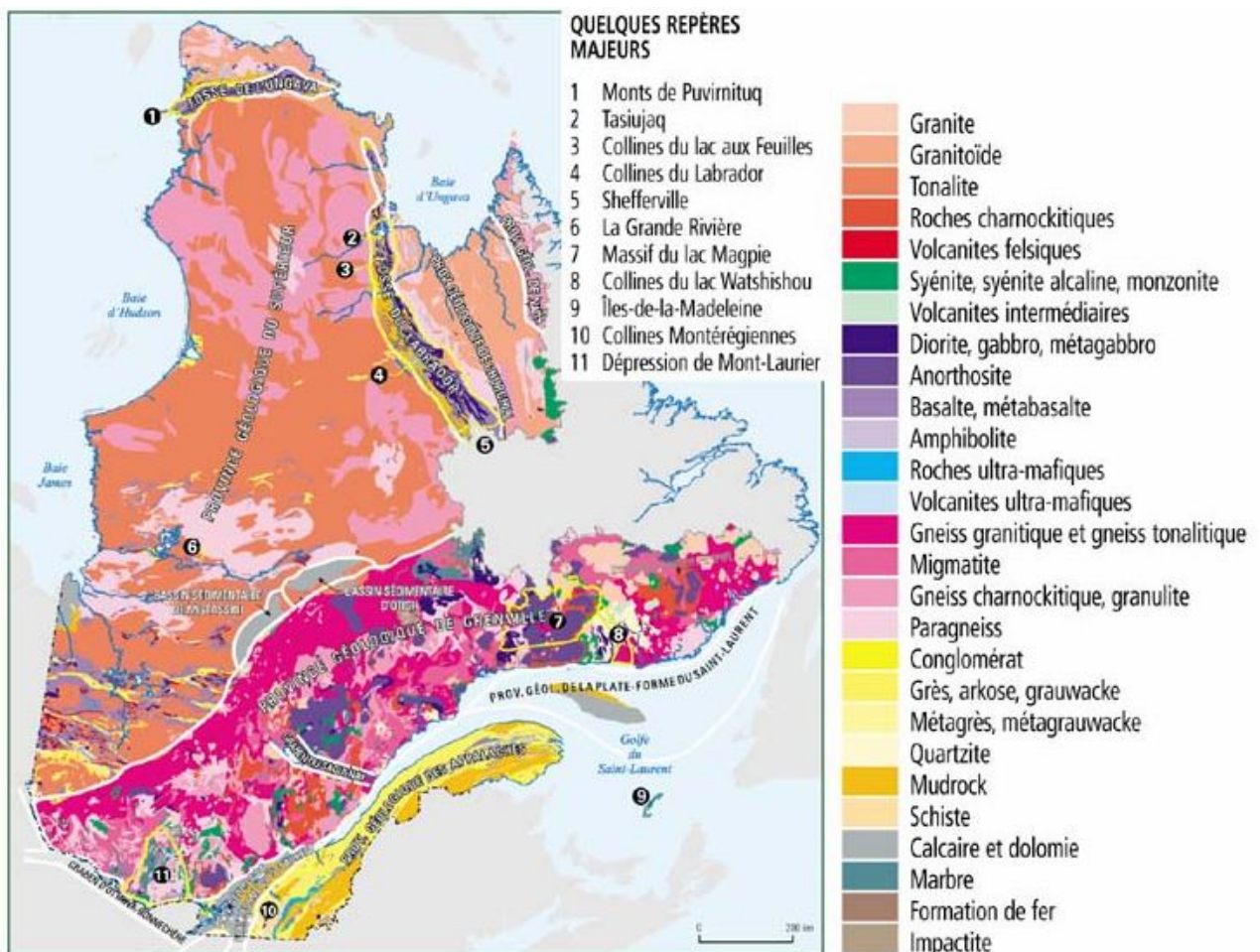


Figure 3.3 La géologie du Québec simplifiée (tiré de : MELCC, 2019)

Durant l'ère cénozoïque (66 Million d'années - aujourd'hui), le Québec a connu des épisodes de glaciation et de fonte forgeant son relief. Les dépôts de surface (figure 3.4) retrouvés au Québec sont attribuables à ces épisodes de fontes. Certains événements, comme la mer de Champlain, ont mené à des dépôts importants riches en nutriments. En effet, pendant plusieurs milliers d'années, la présence d'étendues d'eau importantes a permis le dépôt d'argiles riches en matières organiques. Lors du retrait de la mer, ces dépôts sont alors devenus disponibles pour la flore. Ainsi, les basses-terres du Saint-Laurent sont définies par ces dépôts marins riches en argile et sable fin, les rendant accueillantes pour une variété d'espèces végétales préférant leurs conditions alcalines aux milieux

plus acides du nord du Québec. (MELCC, 2019) Le long des cours d'eau, on retrouve des sols glaiseux ou gleysols. Leur formation est due aux dépôts de surfaces riches rendant les sols alcalins. (Lamontagne et Nolin, 1997)

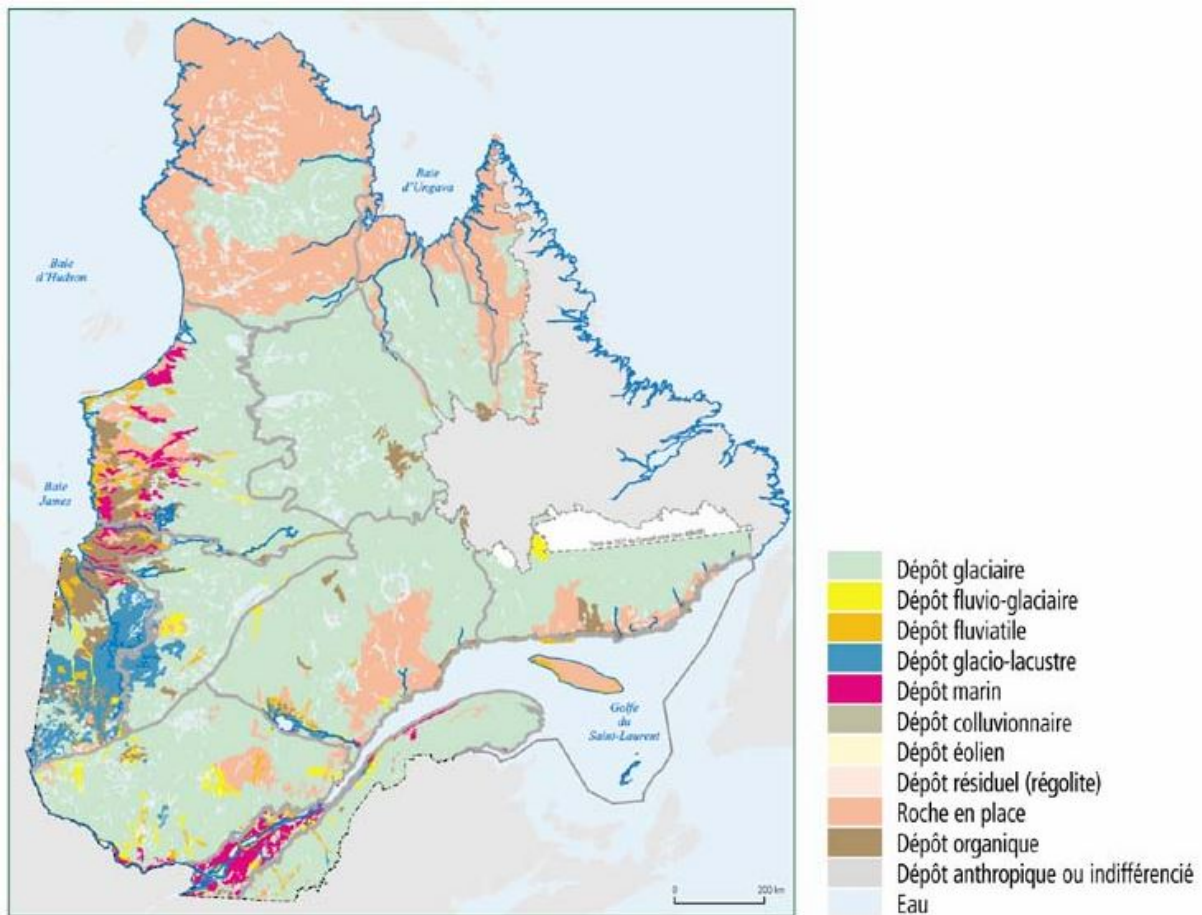


Figure 3.4 Les dépôts de surfaces du Québec (tiré de : MELCC, 2019)

Les dépôts glaciaires recouvrent la majorité du territoire québécois puisque le territoire était sous les glaciers pendant des millénaires, jusqu'à la disparition de la calotte glaciaire il y a 10 000 ans. À l'ouest du Québec, on retrouve des vestiges de cette période glaciaire sous forme de dépôts riches en matières organiques provenant d'immenses lacs d'eau douce créés par la fonte des glaces. (MELCC, 2019)

Au nord du Québec, on retrouve des sols qui sont caractérisés par une acidité nettement supérieure à celle des régions plus au sud. La composition des dépôts est majoritairement originaire de la fonte des glaciers. Ceux-ci y sont très minces et recouvrent à peine le roc. On y retrouve surtout du sable et du gravier grossiers déposés sur une assise de roche du Bouclier canadien. Cela a mené au développement de sols acides ou neutres que l'on identifie comme podzols et des brunisols. Cette composition est surtout causée par le fait que les roches sous-jacentes n'ont pas fourni une grande

quantité de matériaux fins permettant la formation de sols plus riches et accueillants pour la flore. (Lamontagne et Nolin, 1997) Avec les conditions climatiques plus froides, on retrouve de grandes populations de forêts mixtes et de forêts de résineux. Leur présence influence aussi l'acidité des sols, puisque la décomposition des aiguilles et du bois acidifie les couches de matière organique. (MELCC, 2019)

3.2 Facteurs biotiques et populations végétales

Comme décrit précédemment, la flore du Québec est largement influencée par les conditions climatiques, mais aussi par la géologie et les dépôts de surfaces. À ce jour, il n'y a pas eu d'inventaire exhaustif des populations végétales du Québec vu les coûts importants que devrait engendrer une telle opération. Cependant, il a été possible de caractériser le couvert forestier du Québec en analysant des images satellites de haute précision de l'Agence américaine d'observation océanique et atmosphérique (NOAA). Cela a permis d'obtenir une idée globale des populations végétales du Québec. (MELCC, 2019)

En observant la figure 3.5, on remarque une limite claire entre les forêts de feuillus et les forêts résineuses. Un peu au sud du 52^e parallèle, les forêts de feuillus sont remplacées par la forêt boréale qui s'étend ensuite sur la majeure partie du nord du Québec. (MELCC, 2019) Cette dernière est reconnue pour abriter un nombre limité d'espèces. En effet, les conditions acides et le climat plus froid limitent l'établissement de nombreuses espèces de feuillus et d'herbacées moins tenaces. C'est pourquoi la partie sud du Québec est une région beaucoup plus riche ayant une biodiversité plus importante qu'au nord vu ses conditions abiotiques plus clémentes et accommodantes. Les forêts résineuses au nord sont majoritairement denses et accompagnées d'un parterre de mousses et de lichen. Les espèces qu'on y retrouve sont les pins, les épinettes et le sapin. Celles-ci recouvrent plus de 80% du territoire québécois, ce qui implique que la biodiversité est largement concentrée au sud où poussent une grande variété de feuillus qui ne peuvent pas s'établir dans le nord du Québec. Toutefois, on observe que les régions les plus au sud sont fortement affectées par les activités anthropiques. (MELCC, 2019)

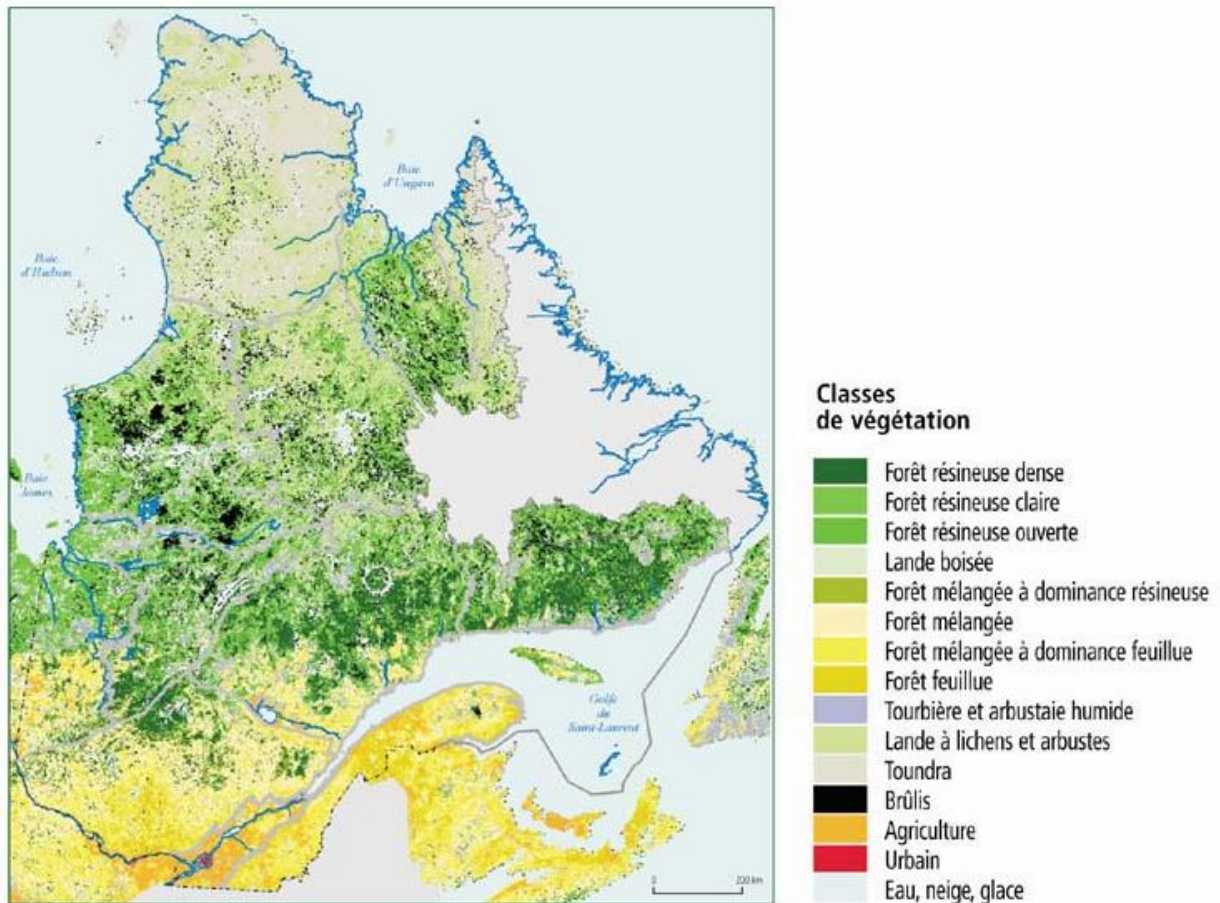


Figure 3.5 Les populations végétales du Québec selon les classes de végétation (tiré de : MELCC, 2019)

Les territoires urbains et agricoles se retrouvent dans les basses-terres du Saint-Laurent et des Appalaches afin de profiter des terres riches et nutritives pour les cultures. De plus, les grandes métropoles s’y sont développées entraînant ainsi l’étalement urbain dans ces régions. Ces enjeux viennent accentuer les problématiques de propagation d’EEE en offrant des milieux perturbés et des activités anthropiques favorisant les espèces exotiques tout en désavantageant la flore indigène. (MELCC, 2019)

3.3 Le nerprun au Québec

En comparant la distribution du nerprun avec la biogéographie d’un endroit, certaines barrières limitant la progression du nerprun vers le nord pourraient être identifiées. Comme soulevé plus tôt, le nerprun ne semble pas être favorisé par les sols spodiques, qui sont des sols acides associés avec les forêts de conifères. De plus, l’ombrage intense et les températures froides empêchent le développement des plantules et la floraison. La progression vers le nord du nerprun pourrait être freinée par les grandes forêts de conifères et les sols acides des territoires du Bouclier canadien du

nord du Québec, mais le climat pourrait ne plus être une barrière si les changements climatiques viennent à y modifier les températures et la composition végétale.(Kurylo et al., 2007)En effet, les perturbations engendrées pourraient affecter la flore locale causant des ouvertures de canopée et une modification de la composition végétale offrant un nouvel environnement plus accueillant pour les EEE. (Dukes et al., 2009) De plus, on prévoit une augmentation des précipitations au nord, ce qui pourrait aider l'implantation de colonies de nerprun puisque celui-ci préfère les environnements plus mésiques qu'arides. (Dukes et al.,2009 ; Kurylo et al., 2007)Bien que les modèles ne sont pas infaillibles vu le manque de compréhension des relations entre le nerprun et son environnement, il faut considérer que les changements climatiques pourraient favoriser l'établissement et l'évolution des populations de nerprun et des autres EEE. (Dukes et al., 2009)

3.4 Changements climatiques

Selon ledernier rapport publié en 2018 du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), il est hautement probable que les changements à long terme des systèmes climatiques mondiaux vont persister dans le temps et s'accroître avec l'augmentation des températures. Ces modifications climatiques auront indéniablement des impacts sur le climat ainsi que sur les aspects influençant les populations végétales. Il est particulièrement difficile de prédire de façon certaine ces impacts, puisque beaucoup de variables sont en relation. Il est possible que les sols deviennent plus secs vu l'augmentation de l'évapotranspiration des arbres en réponse à une saison de croissance plus longue (Houle et al., 2012) ou encore que les conditions deviennent plus humides vu une augmentation des précipitations (Roy et al., 2001). Les recherches et modèles sont donc entièrement dépendantsdes modifications apportées non seulement aux changements de température globale, mais aussi à tous les facteurs affectant la dynamique des populations végétales du Québec. (Andalo, Beaulieu et Bousquet, 2005) Il est donc complexe de déterminer tous les impacts pouvant découler des changements climatiques sur les écosystèmes du Québec.

Cependant, plusieurs études démontrent que ces changements ont des effets notables sur les espèces exotiques, particulièrement celles qui ont des caractères envahissants. Puisque celles-ci sont souvent définies par leur grande capacité d'adaptation, les EEE ont de meilleurs outils pour adapter leur période de reproductionet de croissance aux variations causées par les changements climatiques. Il est donc clair que le réchauffement climatique a favorisé et continuera d'aider l'implantation des populations d'espèces exotiques envahissantes. Parallèlement, les changements climatiques pourraient avoir des impacts négatifs sur les espèces locales qui sont moins aptes à s'adapter aux changements rapides du climat. (Willis et al., 2010) La combinaison de ces impacts

pourrait impliquer qu'à long terme, les régions affectées par les EEE pourraient voir les problématiques empirer ce qui augmenterait de façon importante les coûts de gestion.

4. LES IMPACTS DU NERPRUN SUR L'ÉCOSYSTÈME

En étudiant la biologie du nerprun et la dynamique des populations au Québec, il apparaît évident que cette espèce affecte de manière négative les écosystèmes indigènes. Les qualités ayant rendu le nerprun attrayant pour les horticulteurs en font un redoutable envahisseur.

4.1 Modification de l'écosystème

L'établissement d'une nouvelle population de nerprun peut rapidement affecter un écosystème si les conditions lui sont optimales. En effet, lorsqu'il y a des ouvertures de la canopée, causées par des perturbations naturelles ou non, on observe que les semis de nerpruns ont une croissance accélérée pouvant mener à la formation d'une monoculture dense. (Qaderi, Clements et Cavers, 2009) On retrouve alors des plants en pleine croissance dans les ouvertures, entourés de jeunes pousses à croissance lente dans les milieux ombragés. Cela vient perturber la succession végétale naturelle en imposant une compétition aux semis indigènes qui ne sont pas adaptés pour contrer le nerprun. (Knight et al., 2007) Cela affecte particulièrement la structure et les fonctions des forêts indigènes. (Klionsky, Amatangelo et Waller, 2011) En effet, plusieurs facteurs liés à la biologie du nerprun sont soupçonnés d'affecter négativement les forêts.

Il est certain que la présence même de nerprun dans un milieu affecte négativement certaines espèces locales. Déjà, plusieurs études ont démontré des tendances allopathiques chez le nerprun. Cela suggère que les plants produisent des substances dans le sol qui nuisent à la croissance ou la germination des autres plantes tout en favorisant son propre développement. Cette substance active serait possiblement l'émodine qui se retrouve dans les fruits et les feuilles. (Klionsky, Amatangelo et Waller, 2011) Il n'a pas été prouvé hors de tout doute que l'émodine est responsable à elle seule de ce phénomène. (Knight et al., 2007) Il a été observé que la cohabitation du nerprun avec les espèces indigènes diminue grandement la survie de ces dernières, et ce, à différents stades de leur cycle de vie. On observe notamment l'inhibition de la germination, la diminution du taux de survie des pousses, et de la reproduction chez certaines espèces indigènes.

Un des facteurs observés lors de visites in situ est la création d'ombre intense par les arbustes de nerprun matures, dû à leur feuillage volumineux. Toutefois, les études démontrent que cette diminution de luminosité n'est pas assez intense pour causer autant d'effets négatifs. Des études ont analysé les modifications que le nerprun engendre dans les sols. En comparant une litière formée de feuilles d'érable (*Acer sp.*) et de nerprun, on a constaté que les feuilles de nerprun sont plus épaisses et résistantes, installant ainsi une barrière physique empêchant la germination des jeunes pousses indigènes. De plus, on retrouve une concentration d'azote élevée dans la litière de nerprun.

pHet le niveau d'humidité du sol sont significativement plus élevés s'il y a présence de nerprun. Parce les feuilles sont riches en azote, la décomposition est accélérée ce qui enrichit de manière importante les sols. (Heneghan et Brundage, 2002 ; Heneghan et al., 2004) En effet, on note des niveaux de matières organiques et d'azote deux fois plus élevés que dans un sol où le nerprun est absent. (Klionsky, Amatangelo et Waller, 2011) On voit alors un changement dans la texture des sols qui passent de sablonneux et pauvres à riches en hummus et fertiles. La couche de litière de feuilles mortes disparaît pour laisser place à un terreau mis à nu sous les populations de nerprun. (Knight et al., 2007) Un tel changement dans la composition des sols affecte les espèces indigènes, qui sont adaptées aux conditions locales. (Klionsky, Amatangelo et Waller, 2011)

La modification de la litière affecte particulièrement les populations de microfaune composées d'arthropodes qui décomposent la matière organique. La présence de feuilles de nerprun dans la litière augmente considérablement la population de microfaune à cause de son haut taux d'azote. Toutefois, plus le niveau de nutriments est élevé, plus la décomposition est rapide. Ainsi, la litière est complètement décomposée à chaque année rendant tous ses nutriments disponibles dans le sol. Cela peut causer un effondrement des populations d'arthropodes puisqu'il n'y a plus de source constante de matière organique pour les nourrir. (Heneghan et Brundage, 2002) Une litière indigène formée de feuilles de chêne ou d'érable, moins riche en nutriments, est plus lente à décomposer, stabilisant les populations de microarthropodes. La décomposition précoce de la litière de nerprun élimine l'habitat des arthropodes et seulement des espèces pouvant tolérer ces nouvelles conditions, ou pouvant migrer, survivront. (Heneghan et Brundage, 2002) Il y a un risque de diminution de la diversité des espèces d'arthropodes.

La modification des sols cause une boucle de rétroaction positive, où l'établissement d'un individu de nerprun va engendrer des modifications de l'habitat qui vont augmenter le succès d'implantation de la prochaine génération de nerprun. Ainsi, une population est favorisée par sa taille et par le temps écoulé depuis son établissement puisque les conditions deviendront de moins en moins favorables à la flore locale, mais optimales pour le nerprun. Ces modifications persistent dans le temps, ce qui implique que les mesures de restauration suite à l'élimination du nerprun doivent être adaptées selon la sévérité de l'invasion. L'extraction seule du nerprun n'est pas suffisante puisque plusieurs espèces indigènes sont incapables de s'établir dans les sols intensément modifiés. (Klionsky, Amatangelo et Waller, 2011)

4.2 Diminution de la richesse spécifique

La conséquence de ce phénomène est le remplacement de boisés diversifiés par l'établissement de vastes monocultures de nerprun. En plus de détériorer les conditions abiotiques, le nerprun entre en compétition avec les espèces locales pour les ressources. En Europe, il est rare d'observer des monocultures de nerprun. Il fait plutôt partie de la structure des écosystèmes et rivalise à force égale avec les autres espèces indigènes. (Knight et al., 2007 ; Heneghan et al., 2004) En Amérique du Nord, on observe une perte de biodiversité dans les boisés affectés par le nerprun. La biodiversité, où la richesse spécifique est définie par le nombre d'espèces différentes cohabitant dans un même milieu, se qualifie selon l'indice de richesse. Ce dernier augmente avec la quantité d'espèces différentes, mais aussi avec la variété de types d'espèces formant la structure de l'écosystème. Par exemple, la richesse du milieu sera plus élevée si on retrouve une strate herbacée, arbustive et arboricole, en plus d'une variété d'espèces dans chaque catégorie. (Heneghan et al., 2004)

Depuis les premières apparitions d'EEE, on observe un phénomène d'homogénéisation des populations indigènes où les espèces comme le nerprun prennent le dessus, éliminant ou déplaçant les espèces les plus sensibles. En ce qui concerne la sévérité des pertes de biodiversité, les effets devraient être observés à l'échelle locale. À l'échelle régionale, la perte de biodiversité n'est pas aussi importante puisque la variété des habitats et des écosystèmes empêche une invasion totale par une EEE. Cela implique qu'il est peu probable que le nerprun cause la disparition complète d'une espèce sur un vaste territoire. (Powell, Chase et Knight, 2011) En effet, la biodiversité à l'échelle du Québec est considérée comme faible par rapport à d'autres écosystèmes. On n'y retrouve qu'une seule espèce vertébrée et 44 espèces floristiques endémiques au territoire du Québec, qui implique qu'elle est unique au territoire. Ainsi, la grande majorité des espèces caractéristiques de la flore et de la faune québécoise se retrouvent aussi dans plusieurs autres parties de l'Amérique du Nord. À grande échelle, une invasion d'EEE n'aurait donc que peu ou pas d'effet sur la richesse spécifique. Toutefois, une population importante de nerprun n'ayant pas été contrôlée peut facilement nuire à l'intégrité écologique d'un parc local ou d'un terrain d'un particulier. C'est pourquoi les effets de la perte de biodiversité doivent être pris en compte à l'échelle locale pour bien saisir la sévérité de la problématique. (Nowak, Crane et Stevens, 2006) Aussi, le fait d'analyser la problématique à plus petite échelle permet de mieux prendre en compte les particularités du territoire affecté, pour adapter et optimiser les mesures de contrôle et de restauration.

La conservation de la richesse spécifique permet de préserver un niveau adéquat de biodiversité permettant de conserver les caractéristiques des écosystèmes. Plusieurs bienfaits sont reliés à la présence d'une multitude d'espèces provenant de tous les groupes, que ce soit le règne fongique,

animal, végétal ou bactérien. Les changements drastiques d'environnement peuvent faire disparaître des espèces plus fragiles nécessitant certaines conditions particulières afin de s'établir. Comme démontré précédemment, la venue d'EEE pose une menace pour le maintien de la biodiversité. La perte d'espèces est néfaste pour plusieurs raisons. Outre la perte de biens et services économiques discutés à la section 4.2.1, il faut aussi considérer que des écosystèmes indigènes intacts sont des archives naturelles offrant de nouveaux savoirs aux chercheurs. Les parcs nationaux et autres lieux de conservation sont ainsi considérés comme des laboratoires à ciel ouvert. (Carrizosa, Brush et McGuire, 2004) Par exemple, la découverte d'un microorganisme résistant aux chaleurs importantes permettant ainsi la réalisation d'amplification en chaîne de polymérase été possible grâce aux sources thermales conservées par le parc national de Yellowstone aux États-Unis. Les recherches effectuées au fil des années démontrent que les milieux naturels ayant une grande richesse spécifique ont une plus grande valeur puisqu'ils permettent de rendre des services écosystémiques plus variés et de meilleure qualité. (Carrizosa, Brush et McGuire, 2004)

4.3 Biens et services écosystémiques

En plus de causer la disparition locale d'espèces, la diminution de la biodiversité suite à l'établissement d'une EEE affecte les biens et services écosystémiques (BSE) fournis aux humains par un écosystème. Les milieux naturels riches et peu perturbés fournissent des services variés directement ou indirectement aux citoyens locaux. La valeur de ces services peut être quantifiée et varie selon le type de service offert. Les différents types de services sont énumérés dans la figure 4.1. (Charles et Dukes, 2008) Les BSE ont des valeurs d'usage et de non-usage. Les exemples de biens et services sont tirés de l'ouvrage du *Millennium Ecosystem Assessment* (2005).

Les valeurs d'usage se divisent en deux catégories, soit un usage direct ou indirect. Les valeurs d'usages directs peuvent être qualifiées de consommation de la ressource, comme la récolte, ou de non-consommation où la ressource est exploitée par l'entremise des activités de récréation et de tourisme. Ces valeurs sont facilement calculées puisqu'un indice monétaire est relié à leur usage. Les valeurs d'utilisation indirecte sont liées à l'écosystème qui fournit des services de régulation comme la stabilisation des berges, la pollinisation et le contrôle des inondations. Il peut être compliqué d'internaliser la valeur réelle de l'utilisation indirecte, puisqu'elle est tenue pour acquise et souvent ignorée par ceux qui en bénéficient.

Les valeurs de non-usage sont moins tangibles et plus complexes à interpréter afin de leur assigner une valeur monétaire. Au lieu de dépendre d'un service d'usage fourni, leur valeur est plutôt associée à leur existence même. On parle alors de la valeur intrinsèque d'une espèce, d'un service

ou d'un habitat. Par exemple, on peut accorder une valeur esthétique à certaines espèces ou encore à un écosystème. On parle aussi de la valeur d'existence où des individus octroient une valeur sentimentale ou monétaire à une espèce en particulier pour le seul fait qu'elle existe. Ces valeurs sont toutefois qualitatives et varient selon chaque individu. Ainsi, une personne pourrait apprécier la valeur esthétique d'une forêt de nerprun, tandis qu'un autre citoyen sensibilisé ne lui octroierait aucune valeur. Il est ainsi complexe d'accorder une valeur universelle à ces valeurs de non-usage, mais ne pas en tenir compte serait erroné et pourrait changer fortement les mesures entreprises pour le contrôle des espèces exotiques envahissantes. (Charles et Dukes, 2008)

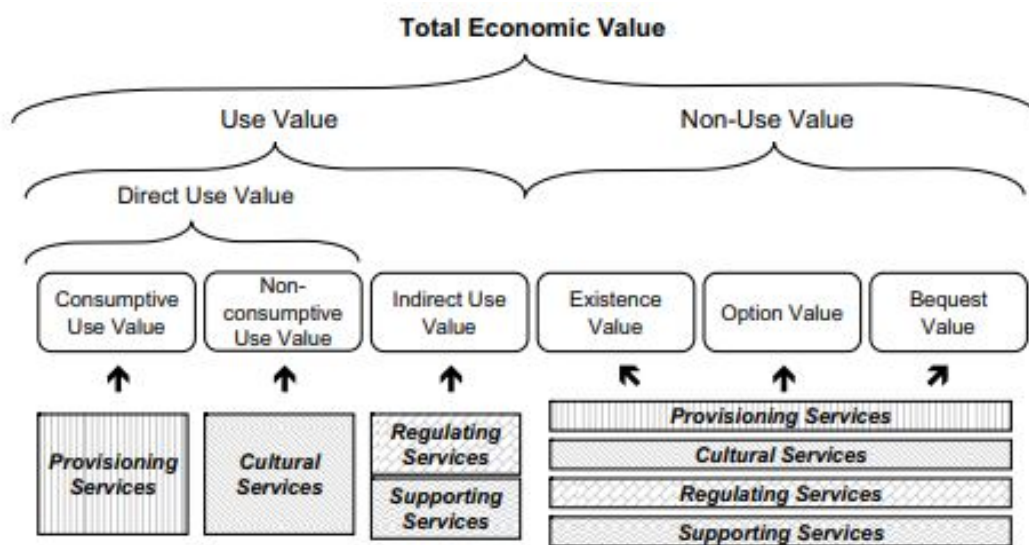


Figure 4.1 Catégories formant la valeur économique des biens et services fournis par un écosystème (tiré de : Charles et Dukes, 2008)

Quand un milieu est perturbé par l'invasion d'une EEE, les BSE peuvent perdre de leur valeur. On observe alors des impacts économiques, sociaux et environnementaux. Les impacts économiques majeurs sont les coûts liés à l'altération de certains services écosystémiques de régulation ou de supportant des valeurs de consommation indirecte. (Charles et Dukes, 2008) Par exemple, les bordures de champs diversifiées permettent de limiter la propagation de maladies tout en offrant un effet brise-vent, un service d'usage indirect favorable aux agriculteurs. Il a été observé que la propagation de la rouille couronnée de l'avoine a considérablement augmenté de 2005 à 2008, particulièrement dans les champs bordés de populations de nerprun. La transformation d'une végétation indigène diversifiée à une nerprunaie offre un milieu favorable à la reproduction du champignon. Cela affecte les cultures d'avoine, engendrant ainsi des pertes économiques importantes pour les agriculteurs. (Chong et al., 2008) En conservant des bordures diversifiées, les maladies fongiques ne pourront pas se développer autant puisqu'elles dépendent d'un hôte

spécifique ou semi-spécifique. Par exemple, une bordure n'ayant aucun nerprun pourrait diminuer la propagation de la rouille couronnée en limitant sa reproduction.

Les impacts sociaux sont plus complexes à déterminer en ce qui a trait à la perte de biodiversité. Les BSE atteints sont plutôt ceux ayant une valeur de non-utilisation de l'écosystème. Considérant la difficulté à quantifier uniformément ces valeurs selon chaque individu, la valeur accordée à la biodiversité est entièrement dépendante des individus ou des regroupements d'individus. (Charles et Dukes, 2008) On estime cette valeur à l'aide de questionnaires évaluant la volonté de payer (*Willingness to pay* (WTP)) des individus ainsi que le montant qu'ils sont prêts à payer pour la conservation d'une espèce ou d'un écosystème. (Garrod et Willis, 1997) Cela est particulièrement important dans un contexte de gestion local des EEE. En effet, les objectifs de conservation de chaque municipalité ou MRC doivent être pris en compte afin d'accorder la juste valeur aux services de non-usage fournis par les milieux naturels urbains. (Pearce et Moran, 2013 ; Dearborn et Kark, 2010)

La diversité en milieu urbain comprend une quantité importante d'espèces exotiques naturalisées mieux adaptées aux perturbations engendrées par le développement urbain. Les actions entreprises pour limiter la perte de biodiversité dépendent des objectifs émis par les dirigeants locaux. Une ville ayant une population octroyant une valeur importante à la préservation de la diversité indigène percevra le contrôle du nerprun comme une priorité. Les motivations peuvent aussi aller au-delà de la valeur intrinsèque d'existence d'une variété d'espèces où des parcs nature abritant des communautés riches peuvent être exploités pour l'éducation des citoyens et encourager des activités ludiques en plein air. (Dearborn et Kark, 2010) En revanche, une ville ne valorisant pas la biodiversité urbaine, mais focalisant tout de même sur les BSE d'usage pourrait s'abstenir d'effectuer des mesures drastiques de contrôle du nerprun. (Dearborn et Kark, 2010) En effet, malgré sa nature invasive, le nerprun fournit tout de même des biens et services écosystémiques. La diminution de la pollution de l'air et l'atténuation des îlots de chaleur sont des bénéfices considérables fournis par les individus matures de grande taille. (Nowak et al., 2006) Finalement, il faut préciser que la diminution de la richesse est aussi causée par la présence des autres espèces exotiques envahissantes. Les interrelations entre les autres EEE retrouvées en Amérique du Nord et le nerprun sont particulièrement néfastes pour la biodiversité locale.

4.4 Relations avec les autres espèces exotiques

On dénombre plusieurs espèces exotiques avec lesquelles le nerprun entretient des relations symbiotiques aggravant l'état des boisés. En milieu urbain, on retrouve de grandes populations

d'étourneauxsansonnets (*Sturnus vulgaris*) reconnus pour avoir une alimentation majoritairement composée de fruits à chair tendre. (Linz et al., 2007) Ils se nourrissent notamment des fruits du nerprun ce qui en fait un vecteur de propagation important surtout en considérant que ces fruits sont plutôt délaissés par la faune locale. (Knight et al. 2007) Les étourneaux ont tendance à favoriser les fruits de plantes invasives au lieu des fruits des plantes indigènes affectant ainsi la dispersion de la flore locale. Des populations denses de nerprun accompagnées d'étourneaux peuvent alors désavantager les espèces aviaires indigènes en plus de favoriser l'établissement de nouvelles populations de nerprun. (LaFleur, Rubega et Parent, 2009) Un autre exemple de relation boucle de rétroaction positive est lorsqu'il y a présence des vers de terre dans le sol. Les vers de terre sont reconnus pour modifier la composition des sols des forêts du Québec. En effet, leur présence diminue de manière importante la litière du sol en plus d'augmenter la quantité de carbone et d'azote dans le sol. Cela est relié à leur haute efficacité pour dégrader la matière organique ce qui déséquilibre les sols, qui sont autrement pauvres, ayant une décomposition lente. (Wironen et Moore, 2006) Lorsqu'on retrouve une large population de vers de terre dans une nerprunaie, on observe que les deux espèces entretiennent des relations étroites en s'avantageant l'une et l'autre. Comme énoncé à la partie 4.1, les feuilles de nerprun forment une litière beaucoup plus riche que celle qu'on retrouverait normalement avec des espèces indigènes. Les vers ont donc accès à une nourriture se digérant plus facilement ce qui leur permet de décomposer plus rapidement la litière de nerprun accélérant ainsi la dégradation des sols. La présence de nerprun augmente la densité de vers de terre, d'autant plus que les vers de terre facilitent l'établissement des populations de nerprun. On peut parler ici d'une co-invasion, où la présence des deux espèces leur est favorable. (Roth et al., 2015) Il est question ici de relations directes entre deux espèces exotiques, mais on retrouve aussi des interrelations indirectes avec d'autres EEE.

L'une des plus importantes implique les EEE causant des perturbations dans les forêts déjà établies. Au cours des dernières années, une des apparitions notables est celle de l'agrile du frêne. Cet insecte s'attaque uniquement aux frênes et entraîne la mort de ceux-ci en l'espace de quelques années seulement. On observe donc l'ouverture de la canopée dans les frênaies offrant ainsi un environnement de choix pour l'établissement du nerprun. De plus, les boisés où quelques individus de nerprun sont déjà établis se voient alors envahis par le nerprun. En effet, un boisé voyant ses arbres matures dépérir offre un milieu parfait pour la germination et la croissance du nerprun, qui voit la quantité de lumière augmenter de façon abrupte. (Hausman, Jaeger et Rocha, 2010) Plusieurs autres calamités peuvent perturber l'équilibre des boisés en ouvrant la canopée. Au Québec plusieurs essences d'arbres de nos forêts sont déjà attaquées par des maladies et parasites provenant de l'Europe et de l'Asie. Par exemple, les ormes sont affectés par la maladie hollandaise

de l'orme qui peut entraîner la mort d'une partie ou de l'entièreté de l'individu l'année même de son infection.(MFFP, 2019) Au même titre, les noyers cendrés sont attaqués par un champignon introduit causant un dépérissement accéléré de l'arbre et aucun remède ou résistance n'a été découvert jusqu'à maintenant. (RNC, 2019)

De plus, l'arrivée de nouvelles maladies et envahisseurs pourrait mettre en péril d'autres essences d'arbre indigènes du Québec. En effet, un nouveau champignon s'attaquant aux chênes a fait son apparition au nord des États-Unis. Celui-ci cause le flétrissement des feuilles et pourrait décimer les forêts de chênes au même titre que l'agrile pour le frêne. Pour le moment il n'a pas été observé au Canada, mais son avancée pourrait être observée en Ontario dans les prochaines années.(Agence canadienne d'inspection des aliments, 2019) Plusieurs modèles prennent en compte la montée vers le nord de plusieurs envahisseurs et maladies en conséquence aux changements climatiques.

4.5 Relations avec la faune

Les populations de nerprun ont aussi des impacts sur la faune locale. En effet, on observe des déplacements de populations d'herbivores qui évitent les nerprunaies. (Qaderi, Clements et Cavers, 2009) Cela s'explique par la préférence des espèces herbivores à consommer les espèces locales, délaissant ainsi le nerprun. Ainsi, aucune espèce n'utilise le nerprun comme source primaire de nutrition. Certains mammifères généralistes peuvent en consommer, mais cela ne représente qu'une faible proportion de leur apport nutritif. Par exemple, les castors consomment un petit nombre de jeunes pousses de nerprun, mais délaissent les individus matures. Sinon, les petits rongeurs consomment rarement les graines de nerprun puisque celles-ci peuvent engendrer des effets indésirables comme la diarrhée. (Knight, 2007) De plus, les grands herbivores comme le cerf de Virginie évitent les populations denses de nerprun puisque les épines leur causent un inconfort. D'autres sources plus attirantes seront donc considérées, éliminant ainsi une importante source de prédation potentielle du nerprun. (Qaderi, Clements et Cavers, 2009)

Les drupes du nerprun sont consommées par une grande variété d'oiseaux au Québec et les arbustes offrent des sites de nidifications plus plusieurs espèces. Par contre, il a été observé que l'élévation qu'offrent les branches du nerprun est plus basse que celle d'autres arbustes indigènes. Cela rend les oiseaux plus vulnérables à la prédation des nids par les prédateurs, diminuant ainsi les taux de reproduction des espèces aviaires fréquentant les nerprunaies. (Qaderi, Clements et Cavers, 2009) En effet, une tendance généralisée est observée où les oiseaux nichant dans des arbustes exotiques ont un taux plus élevé de prédation en comparaison aux oiseaux ayant établi leur nid dans des arbustes indigènes. (Knight et al., 2007) On observe aussi l'établissement de nouvelles

populations de nerprun sous les branches et structures utilisées par des oiseaux consommant des fruits de nerprun. (Archibold et al. 1997)

Beaucoup d'études sont encore nécessaires pour comprendre l'entière influence du nerprun sur la faune du Québec. Particulièrement en ce qui concerne l'émodine, qui selon des recherches récentes, peut avoir des conséquences graves sur le développement embryonnaire de la rainette faux-grillon. En effet, les embryons exposés à de faibles quantités de cette molécule provenant des feuilles en décomposition présentent des malformations et un taux de survie diminué. (Lavoie, 2019)

5. ANALYSE DES FACTEURS

Dans cette section, les informations obtenues à la suite de la revue de littérature ont été regroupées et analysées selon des critères déterminés. On retrouve chacun des critères et leur justification à la suite de la description de la méthodologie, ainsi qu'une définition des facteurs retenus. Ensuite, les résultats sont compilés dans un tableau synthèse.

5.1 Méthodologie

L'objectif de l'analyse est de faire ressortir des facteurs environnementaux du Québec ou de la biologie du nerprun qui pourraient permettre une meilleure gestion préventive des invasions de nerprun. Après avoir pris connaissance des différents aspects de la biologie du nerprun en relation avec son écosystème québécois, plusieurs facteurs seront énumérés dans un tableau. Chacun des facteurs a été défini dans le tableau 5.3 et classifié selon différentes catégories. Ainsi il sera possible de savoir si un facteur découle des caractéristiques du territoire québécois, de la biologie du nerprun ou toute autre catégorie pertinentes. Les facteurs ont été analysés selon des critères définis et justifiés dans le tableau 5.2. Chaque critère est évalué selon quatre niveaux d'intensité indiquant si le facteur est pertinent à considérer pour un futur plan d'action. Les niveaux d'évaluation sont disponibles dans le tableau 5.1. Chaque niveau a une certaine valeur qui a été additionnée obtenant ainsi un score final pour chacun des facteurs. Les facteurs sont comparés entre eux et ceux ayant le score le plus élevé ont été choisis afin d'être intégrés dans le plan de gestion préventive du nerprun. Les scores ayant un total de 5 et plus (inclusivement) seront conservés en considérant que la cote maximale qu'un facteur peut obtenir est 10.

Tableau 5.1 Valeur de chacun des critères de sélection pour le programme de gestion préventive pour différents niveaux d'intensité

<i>Niveau d'intensité</i>	<i>Explication</i>	<i>Valeur</i>
<i>++</i>	Respecte entièrement le critère	2
<i>+</i>	Respecte en partie le critère	1
<i>0</i>	Est neutre par rapport au critère	0
<i>-</i>	Contrevient en partie au critère	-1
<i>--</i>	Contrevient entièrement au critère	-2

Ensuite, les résultats de l'analyse ont été présentés dans un tableau simplifié afin de permettre une lecture rapide de l'évaluation de chacun des facteurs selon les critères. Pour terminer, les quatre facteurs ayant les résultats finaux les plus élevés ont été retenus afin d'être utilisés dans la section suivante qui consiste à formuler les grandes lignes d'un plan de gestion préventive sur le nerprun.

Tableau 5.2 Critères sélectionnés pour l'analyse des facteurs ainsi que leur explication et définition

Critères	Définition	Explication
<i>Contrôle</i>	Des actions anthropiques peuvent être effectuées afin de contrôler le facteur à une échelle locale.	Si le facteur peut être contrôlé entièrement ou partiellement par des interventions anthropiques, il devient plus intéressant de l'inclure dans des mesures de contrôle. Par contre, s'il est complètement indépendant des actions humaines, ou n'est que peu influencé, le facteur est moins intéressant.
<i>Prédictibilité</i>	Dans une échelle de temps x, le facteur peut être prédit de façon plus ou moins efficace.	Si le facteur n'est prévisible d'aucune façon, il perd de la valeur. Sans une certaine prédictibilité, il devient difficile de baser un plan d'action sur un facteur pouvant être modifié aléatoirement.
<i>Influence</i>	Le facteur influence les invasions et l'établissement des populations de nerprun.	Tous les facteurs sélectionnés ont une certaine influence sur les dynamiques des populations de nerprun, mais certains ont une influence plus grande. Il s'agit ici d'octroyer plus de points aux facteurs ayant une plus grande portée.
<i>Local</i>	Les effets des facteurs ont une influence locale qui reste à petite échelle	Les plans et projets de contrôle du nerprun sont majoritairement implantés de façon locale par des municipalités ou des organismes à but non lucratif. Si un facteur est trop global ou généralisé pour être appliqué à petite ou moyenne échelle, il est moins intéressant.

Les facteurs prennent en compte les caractéristiques importantes pouvant influencer les invasions et l'établissement des populations de nerprun. La catégorie « biologie du nerprun » comprend les aspects morphologiques ou développementaux importants. Les facteurs environnementaux proviennent des caractéristiques de la biogéographie du Québec : la géologie, les populations floristiques, le climat, etc. La dernière catégorie comporte les facteurs autres. Ces facteurs ont été

définis en prenant en compte les aspects importants pouvant aider à obtenir une définition précise d'une EEE telle que présentée à la section 1.1 de ce document.

En considérant que l'objectif de l'analyse est de sélectionner des facteurs permettant d'effectuer la gestion préventive du nerprun, une pondération est appliquée au critère de contrôle. Ainsi, les scores des facteurs dans le critère de contrôle seront multipliés par 2. Cela permet de conserver seulement les facteurs ayant une possibilité de contrôle par des actions anthropiques. Même si un facteur respecte entièrement les 3 autres critères, s'il est impossible pour des gestionnaires de l'influencer le facteur, il est peu pertinent de l'inclure dans un plan d'action.

Tableau 5.3 Facteurs sélectionnés selon les différentes catégories et leur définition

	Facteurs	Définitions
<i>Biologie du nerprun</i>	Dissémination des graines par zoochorie	Les graines du nerprun sont disséminées par zoochorie, plus précisément la consommation de graines par la faune, ce qui implique que l'implantation de nouvelles colonies dépend des populations aviaires consommant les fruits du nerprun.
	Banque de graines dense	Les individus femelles matures produisent une quantité importante de fruits et ceux-ci contiennent plus d'une graine. Les fruits tombant majoritairement au pied des arbustes, le nombre de graines dans le sol augmente au fil des années.
	Résistance à l'ombre	Le nerprun exploite sa bonne résistance à l'ombre pour s'installer dans des boisés ayant une canopée assez développée, mais présentant des ouvertures. Toutefois, il ne peut pas s'installer en milieu complètement ombragé comme dans les érablières matures.
	Modification des sols	Une boucle de rétroaction positive est observée où le nerprun modifie les paramètres des sols en augmentant les nutriments, affectant les populations floristiques indigènes, tout en favorisant son cycle de vie. Ainsi, le développement des nouveaux individus est favorisé par la présence de nerpruns matures.

Tableau 5.3 Facteurs sélectionnés selon les différentes catégories et leur définition (suite)

	Facteurs	Définitions
<i>Environnement</i>	Populations de frênes	La mort massive des populations de frênes due à l'agrile du frêne cause des trouées de canopée dans les frênaies. Cette perturbation importante apporte des conditions favorisant l'établissement de nouvelles populations de nerprun.
	Forêts perturbées	Les boisés faisant face à des perturbations sont les plus à risque de propagation de nerprun. La mort des arbres matures formant la canopée cause des ouvertures illuminant le sol du boisé où le nerprun peut facilement s'installer pour ensuite prendre le dessus sur la végétation indigène.
	Géologie	Les différents types de sols présents au Québec varient du sud vers le nord. Au sud, on retrouve des sols calcaires accueillants pour le nerprun et au nord les sols sont majoritairement acides dû aux forêts de conifères du Bouclier canadien.
	Relation avec les espèces exotiques	L'évolution des populations de nerprun est directement et indirectement influencée par la présence d'autres espèces exotiques (végétales ou non) sur les territoires québécois. Celles-ci favorisent la propagation, la croissance ou l'établissement des plants de nerprun.
<i>Autres</i>	Changements climatiques	Les modèles climatiques prédisent que les températures se réchaufferont dans les années à venir, modifiant ainsi les climats des pays nordiques. Entre autres, cela permet aux espèces moins résistantes au froid d'étendre leurs limites nordiques et de s'établir plus au nord de leurs limites actuelles.
	Arrivée de nouvelles EEE	L'arrivage de nouvelles maladies et d'espèces exotiques envahissantes met à risque des populations d'arbres pouvant être affectées comme le frêne. Un nouvel arrivant pourrait décimer les populations d'érable et ainsi offrir un nouveau territoire perturbé pour le nerprun.
	Vente et reproduction à fin ornementale	Un vecteur de propagation anthropique est la vente de nerprun en pépinière à des fins ornementales. Puisque la population n'est pas ou peu informée de la situation, le nerprun peut être un arbuste intéressant à mettre dans son jardin vu sa ténacité.

5.2 Analyse des facteurs

Chacun des facteurs a été analysé selon les informations recueillies lors de la revue de littérature. Selon les résultats de l'analyse des critères, présentés dans un tableau résumé, les facteurs ont été classés selon un ordre d'importance tout en justifiant leur évaluation.

5.2.1 Catégorie A. Biologie du nerprun

Cette catégorie regroupe des facteurs reliés à des composantes de la biologie du nerprun. Ils y sont inclus des facteurs découlant du développement du nerprun, mais aussi des impacts résultant directement de l'influence du nerprun sur son environnement comme la dissémination des graines par zoochorie et la modification des sols.

Facteur A-1 Dissémination des graines par zoochorie

La consommation des fruits par les oiseaux est un des facteurs participant le plus à l'établissement de nouvelles populations de nerprun ainsi qu'à l'étalement des populations déjà établies. Les populations aviaires qui consomment ses fruits influencent drastiquement les dynamiques des populations de nerprun. (Qaderi, Clements et Cavers, 2009) C'est pourquoi le critère d'influence est entièrement respecté par ce facteur. La prédictibilité de ce facteur peut être évaluée de façon moyennement précise, car il faudrait monitorer les populations d'oiseaux d'intérêt pour connaître leurs déplacements suite à leur sustentation. Cela pourrait être une opération coûteuse et peu d'actions pourraient ensuite être entreprises avec cette information autre que de la surveillance et de la prévention pour les endroits à risque d'accueillir les fientes contenant les graines de nerprun. Cela implique aussi que le contrôle n'est donc pas un critère respecté par cette technique, puisque les seules actions qui pourraient être effectuées sont la capture des oiseaux ou la diminution de la banque de graines (voir facteur A-2). Sinon, la localité du facteur est difficilement évaluable, puisque les populations d'oiseaux ont des modèles de vols distinctifs et variables selon les saisons et les espèces. Ainsi, il serait très complexe de classer les différentes espèces selon leurs habitudes alimentaires et leurs itinéraires de vol en plus de prendre en compte la migration si elle a lieu. C'est pourquoi ce facteur contrevient en partie au critère de localité.

Facteur A-2 Banque de graines dense

La densité de la banque de graines est un facteur particulièrement important de l'invasion du nerprun, vu la grande capacité de production et la longue durée de vie des graines dans le sol. La prédictibilité de la production de graine et la durée de la fructification sont bien connues, ce qui respecte ainsi le critère entièrement. (Qaderi, Clements et Cavers, 2009) Des opérations de retrait

des graines déjà établies dans le sol ne sont pas envisageables, puisque le labourage et l'épandage de paillis pour étouffer la germination ne sont pas des méthodes efficaces pour contrôler le nerprun. Déployer des équipes pour récolter les fruits serait particulièrement coûteux considérant que les individus matures produisent des fruits de juillet jusqu'à la fin de l'été. Il est donc difficile de contrôler la banque de graines existante en ayant des résultats concluants. Toutefois, les fruits sont portés seulement par les individus femelles. Malgré les cas exceptionnels d'individus hermaphrodites, ce critère est facilement prévisible puisque chaque année, les femelles produisent leurs fruits. Elles sont donc aisément identifiables pour une intervention future rendant ce facteur très prévisible. C'est aussi un avantage important puisqu'un certain contrôle des populations pourrait être effectué en abattant seulement les individus femelles, diminuant ainsi les coûts reliés aux opérations forestières. Cela est particulièrement vrai lorsque des interventions sont effectuées dans des populations plus âgées de nerprun où, selon certains règlements municipaux, l'abattage doit être effectué avec un certificat d'autorisation, augmentant ainsi drastiquement les coûts. Même si cela n'est pas une solution à long terme, il s'agit d'un certain point de départ où de la prévention pourrait limiter l'augmentation de la banque de graines dans le temps. (Archibold et al. 1997) Le critère de contrôle est donc respecté en partie, puisqu'il est possible d'identifier quel individu abattre en effectuant des inventaires et en visant les individus femelles de grandes tailles. Cela pourrait aussi diminuer les risques d'implantation de nouvelles populations occasionnés par le transport des graines par zoochorie par la consommation par les oiseaux, influençant en partie la dynamique d'étalement du nerprun. Les effets du contrôle de la banque de graines sont majoritairement locaux et s'ajustent bien à un plan de gestion qui serait établi à petite échelle, au niveau d'une MRC ou même d'un parc nature urbain. Il serait aussi possible d'effectuer des interventions sur des terrains de citoyens permettant ainsi d'augmenter l'efficacité des plans de gestion, ce qui fait que le critère local est entièrement respecté.

Facteur A-3 Résistance à l'ombre

Deux formes de contrôle pourraient être utilisées à l'aide de ce facteur, soit la conservation des boisés matures ayant une canopée dense et la plantation de nouveaux arbres dans des milieux ayant des canopées légèrement ouvertes. (Grubb et al., 1996) Par contre, le contrôle d'une colonie de nerprun déjà installée depuis plusieurs années dans un milieu boisé avec ouvertures serait complexe, voire impossible. Il faudrait mettre en place un protocole d'arrachage, de coupe et de suivi, couplé avec des plantations d'arbres ayant déjà une certaine hauteur, impliquant des coûts importants. Sans cela, les nouvelles pousses de nerprun pourront pousser et étouffer les nouveaux plants. (Kurylo et al., 2007) C'est pourquoi le contrôle serait plutôt effectué de manière préventive

ou comme complément à d'autres méthodes de contrôle. Ainsi, le facteur ne respecte pas tout à fait le critère de contrôle, puisque des actions anthropiques ne seraient pas les plus efficaces. La prédictibilité du facteur est plutôt faible. Même s'il est connu qu'un boisé tel qu'une érablière dense n'est pas un territoire de choix pour l'établissement du nerprun, il est difficile d'évaluer le pourcentage d'ouverture de canopée nécessaire pour qu'une population de nerprun s'y plante. Certains milieux peuvent toutefois être identifiés par d'autres aspects comme le niveau de perturbation et la présence d'autres EEE, mais cela s'appliquerait en observant d'autres facteurs plutôt que l'ombrage précis d'un boisé. La résistance à l'ombre est un facteur qui influence de manière importante l'établissement de nouvelles populations de nerprun. En effet, le nerprun prospère dans les zones perturbées où les canopées des boisés présentent des trouées. L'ombrage est souvent trop important pour l'établissement d'autres espèces indigènes compétitives, laissant seulement les espèces moins compétitives en place. Le nerprun ainsi favorisé, sa croissance se fait alors rapidement et étouffe la végétation qui était en place auparavant. L'établissement d'espaces fortement ombragés pourrait alors favoriser l'avancée du nerprun en empêchant les nouvelles graines de pousser. (Kurylo et al., 2007) Les boisés urbains et les champs agricoles sont les milieux les plus à risque, ce qui facilite les opérations de plantation et de surveillance. Ainsi, la localité du facteur est envisageable, si on limite les interventions à des parcelles locales. Toutefois, les vastes milieux forestiers ne sont pas des cibles pour un contrôle local, puisque leur surveillance et leur gestion deviendraient trop coûteuses et complexes. C'est pourquoi la localité n'est qu'en partie respectée par ce facteur.

Facteur A-4 Modification des sols

Le contrôle de la modification des sols par le nerprun n'est pas une opération envisageable par des méthodes anthropiques. Pour rétablir l'état initial, il faudrait effectuer des démarches invasives et coûteuses comme le retrait des sols, leur traitement et l'ajout de nouvelle terre. Des études à long terme seraient fondamentales afin de déterminer, si cela est possible, le temps nécessaire aux sols pour retrouver leur propriété d'origine. Sans cela, il est difficile de prévoir si la modification des sols par le nerprun est permanente, et si à long terme, la flore locale se rétablirait malgré l'absence de plants de nerprun. La modification des sols prend plusieurs années avant d'être un facteur influençant les populations de nerprun. De plus, les effets sont localisés aux secteurs ayant des individus adultes âgés. L'influence de ce facteur est importante, mais seulement suite à une implantation importante d'une population de nerprun. (Heneghan et Brundage, 2002 ; Heneghan et al., 2004) Certains mécanismes restent encore méconnus par rapport à l'influence de ces modifications sur les jeunes pousses de nerprun. Ainsi, le facteur respecte seulement de façon

modeste le critère de l'influence. La localité du facteur est fortement respectée. Les sols transformés influencent plus particulièrement la pousse des jeunes plants et des graines établis près des individus matures.

5.2.2 Catégorie B. Environnement

Les facteurs inclus dans la catégorie environnement ont une influence indirecte sur le nerprun. On implique ici des caractéristiques et des enjeux environnementaux propres au territoire du Québec. Cela implique ses espèces fauniques et floristiques ainsi que certains aspects de sa biogéographie.

Facteur B-1 Population des frênes

La gestion des frênes dépérissant en milieux boisés urbains est majoritairement effectuée par la coupe massive des individus affectés par l'agrile du frêne. Sinon, les frênes dépérissants ne menaçant pas la sécurité publique sont laissés sur place et meurent après quelques années. Les canopées ainsi ouvertes influencent grandement l'établissement du nerprun en offrant des milieux perturbés s'ouvrant au fur et à mesure que les frênes périssent. (Hausman, Jaeger et Rocha, 2010) Les anciennes frênaies sont donc des territoires de choix pour les nouvelles populations de nerprun et permettent un développement accéléré des nerprunaies qui sont déjà établies sous les frênes. Par contre, cette influence est limitée aux secteurs ayant des frênes. Même s'il y a un grand nombre de frênes dans le sud du Québec, l'influence reste limitée à certains secteurs en particulier, et donc le critère n'est respecté qu'en partie. Les frênaies offrent cependant une certaine opportunité de contrôle, là où des coupes importantes de frênes peuvent être jumelées avec des coupes de nerprun afin de limiter les coûts et les perturbations du milieu. Pour l'instant, les traitements pour les frênes malades sont coûteux et réservés aux arbres de rues et des particuliers. Sans méthode efficace et peu coûteuse pour le moment, le contrôle sur ce facteur reste faible. On a constaté au cours des dernières années que l'avancée de l'agrile du frêne est féroce et que la durée de vie d'un arbre affecté est de quelques années. (MFFP, 2019) En identifiant les boisés composés de frêne, il est possible de prévoir des lieux à risque pour l'établissement de nerprun. Ainsi, avec une caractérisation simple des populations végétales, un plan de gestion et de prévention peut être mis en œuvre pour limiter la prolifération du nerprun. Ainsi, le critère de prédictibilité de ce facteur est fortement respecté. La gestion de l'agrile du frêne est déjà effectuée de manière locale par les villes et les MRC, ce qui facilite la transposition de ce facteur à la problématique du nerprun. Puisque les inventaires d'arbres sont aussi disponibles localement, ce facteur respecte entièrement le critère de localité. Il faut toutefois préciser que certaines municipalités n'ont pas effectué d'inventaires ou ne sont pas à jour faute de budget.

Facteur B-2 Forêts perturbées

Les perturbations anthropiques peuvent être difficiles et coûteuses à restaurer. En milieux perturbés comme en zone agricole, il peut être complexe de contrôler le nerprun en éliminant les zones perturbées. (MELCC, 2019) Il faut donc axer le contrôle du nerprun sur des actions de conservation de milieux naturels et de restauration, lorsque possible, de milieux perturbés. Il est donc possible d'effectuer un contrôle anthropique du facteur. Malgré tout, la réussite des projets de restauration peut varier selon les méthodes et les sommes investies. Il peut alors être complexe de définir tous les aspects pouvant influencer l'élimination des perturbations d'un milieu. D'un autre côté, les perturbations sont majoritairement de nature anthropique. (MELCC, 2019) Il est donc aisé d'effectuer un contrôle de ces activités afin de limiter les impacts favorisant le nerprun. De plus, en identifiant les secteurs perturbés, les mesures de gestion peuvent être directement intégrées dans les plans de gestion de travaux futurs, ce qui permet à ce facteur de répondre en partie au critère de contrôle. Il est possible de prévoir les lieux où des travaux (comme la construction d'une route) pourraient apporter de nouvelles perturbations. Ainsi le critère de prédictibilité est respecté en partie pour ce facteur. Puisque le nerprun est reconnu pour apprécier les milieux perturbés par les activités anthropiques, l'influence de ce facteur est importante. En effet, les perturbations facilitent l'implantation du nerprun dans son environnement et peuvent lui servir de couloir de propagation étalant ainsi ses populations. Les perturbations anthropiques sont la plupart du temps localisées, limitées à quelque kilomètre d'envergure. Même si un projet de grande ampleur peut s'étaler sur plusieurs MRC, il reste possible de faire une gestion locale à même le projet ou en suivi du projet. Le critère de localité est donc respecté pour ce facteur.

Facteur B-3 Géologie

Le critère de contrôle n'est pas du tout respecté par le facteur de géologie, puisqu'il est impossible de modifier de manière importante la géologie d'un sol déjà présent. Cependant, la prédictibilité est respectée puisque les sols ont été cartographiés avec une assez bonne précision dans les différents secteurs géologiques du Québec. (MELCC, 2019) Néanmoins, l'avancée du nerprun vers le nord reste un sujet ouvert à l'expérimentation puisque seules des prédictions basées sur des modèles théoriques et non pratiques sont disponibles pour le moment, limitant ainsi la prédictibilité du facteur. En effet, l'influence de la géologie des sols sur le nerprun reste encore à étudier plus en profondeur. On sait toutefois que le nerprun préfère les sols alcalins aux sols acides. Les sols acides des régions nordiques pourraient ainsi constituer une barrière biologique et chimique à l'avancée du nerprun vers le nord. Les sols acides sont dus à la présence de forêts denses de conifères et des roches acides de la province du Bouclier canadien. L'influence reste donc un critère respecté

seulement en partie par le facteur puisque le nerprun présente des capacités impressionnantes d'adaptation qui pourraient permettre son établissement en territoire plus acide. (Dukes et al., 2009) La localité du facteur est faiblement respectée, puisque les provinces géologiques ne sont pas établies sur des échelles locales. On les observe plutôt sur de grandes superficies qui s'étendent sur plusieurs milliers de kilomètres. Il est donc impossible de faire une gestion locale importante de l'avancée du nerprun qui inclurait l'entièreté d'une province géologique. Il y a toujours une possibilité d'appliquer ce facteur à l'échelle d'une MRC si l'influence du type de sol est importante, mais sans plus.

Facteur B-4 Relation avec les espèces exotiques

Plusieurs EEE influencent l'établissement et la croissance des populations de nerprun. Selon l'espèce, la cohabitation avec le nerprun influence minimalement ou modérément la dynamique de population du nerprun. C'est pourquoi le critère d'influence est respecté en partie, vu la variation des effets des EEE sur le nerprun. Le contrôle des EEE reste une opération souvent coûteuse et complexe qui nécessite de la recherche et des investissements importants en main-d'œuvre et en suivi. Leur contrôle est souvent délaissé puisque les impacts économiques ne sont pas assez importants pour justifier l'investissement massif de ressources pour régler la problématique. De plus, le nerprun entre en relation avec un nombre important d'EEE, ce qui implique que plusieurs plans de gestion adaptés à chaque espèce devraient être mis en place. Le contrôle efficace de ces EEE serait trop coûteux et complexe à mettre en place et n'est donc pas respecté par ce facteur. De plus, la prédictibilité est problématique, puisqu'il faut effectuer des suivis de populations d'insectes, d'oiseaux et maladies fongiques. Il y a aussi une variation d'intensité et d'impacts pour chaque EEE influençant le nerprun ajoutant à la complexité du facteur. Chaque espèce est accompagnée de son lot de défis et de caractéristiques propres influençant sa surveillance, ce qui en fait un facteur quasiment impossible à prévoir. C'est pourquoi le facteur ne respecte pas du tout le critère de prédictibilité. Certaines des EEE peuvent être gérées de façon locale à l'aide d'un plan de gestion. Toutefois, celles dont il est question ici sont présentes dans tout le Québec et présentent des caractéristiques les rendant impossibles à gérer localement. Par exemple, les vers de terre et les étourneaux ne pourraient pas être gérés de façon locale vu leur capacité de migration et leur omniprésence. C'est pourquoi le critère de localité n'est pas respecté par le facteur.

5.2.3 Catégorie C. Autres

Dans cette catégorie, on retrouve des facteurs ayant une influence indirecte et directe sur le nerprun. Ils ne sont toutefois pas assez précis ou applicables aux deux sections précédentes. En ce

qui concerne les changements climatiques et l'arrivage de nouvelles EEE, ces facteurs sont des prédictions pour le futur tandis que la vente à des fins ornementales est un facteur dépendant de la législation et des agissements de la population.

Facteur C-1 Changements climatiques

Le contrôle des changements climatiques est un enjeu mondial impliquant une réforme importante du fonctionnement de l'économie. (GIEC, 2018) Même s'il est techniquement possible de réduire les gaz à effet de serre, en pratique cela découle de politiques nationales et d'accords mondiaux. Dans le contexte de ce travail, ces mesures de contrôles ne seraient pas envisageables pour les appliquer à l'enjeu du nerprun. Ainsi, même si dans une optique mondiale il est possible de limiter les changements climatiques, les moyens nécessaires pour atteindre ce but sont trop généralisés pour la gestion d'une espèce exotique envahissante. Du même coup, le critère de localité n'est pas du tout respecté puisqu'à l'échelle locale, les projets de diminution des gaz à effet de serre ont des objectifs globaux plutôt que locaux. La prédictibilité des changements climatiques est limitée aux modèles développés par le GIEC et autres institutions scientifiques. Ces prédictions montrent que les températures augmenteront au fil des années. Puisque ces modifications avantagent les comportements invasifs des EEE, mais qu'il reste difficile de prévoir précisément leurs effets à long terme, le critère de l'influence est modéré.

Facteur C-2 Arrivée de nouvelles EEE

Considérant que la majorité des introductions de nouvelles EEE sont accidentelles, il est pratiquement impossible de garder un contrôle sur cet aspect. (Roth et al., 2015) Il est possible de faire preuve de vigilance en surveillant les dynamiques des populations des nouveaux envahisseurs détectés dans les pays et les provinces avoisinant le Québec et d'effectuer un suivi des EEE connues. Sinon, la mise en place d'une politique de surveillance des importations peut aussi être une mesure préventive efficace, mais pas infaillible. Ces événements sont aléatoires et anecdotiques, rendant le contrôle et la prédictibilité de ce facteur impossible. L'influence directe de ce facteur va dépendre entièrement des impacts qu'engendre la nouvelle EEE. En effet, il est peu probable qu'une nouvelle EEE ait une relation réciproque avec le nerprun comme les vers de terre et les étourneaux sansonnets. Cependant, les perturbations des milieux naturels par les maladies et les insectes s'attaquant aux arbres sont un aspect important à considérer. Cela apporte de nouveaux environnements accueillant pour l'établissement de nouvelles populations de nerprun. L'influence

en demeure tout de même limitée. La localité de ce facteur est trop aléatoire pour être évaluée positivement ou négativement. En effet, un envahisseur comme l'agrile du frêne peut être géré de façon locale, mais un EEE comme les vers de terre est impossible à évaluer localement. Il est donc impraticable d'attribuer une valeur à ce critère puisqu'il est irréaliste de déterminer les caractéristiques rendant possible, ou non, la gestion locale d'un nouvel envahisseur.

Facteur C-3 Vente et reproduction à des fins ornementales

Un certain contrôle peut être effectué. En effet, en imposant des lois interdisant la vente et la reproduction d'EEE, les pépinières pourraient se voir obligées de cesser le commerce du nerprun. Toutefois, une surveillance accrue et des audits devront être effectués pour assurer l'efficacité de ces méthodes. Puisqu'aucune loi ni infrastructure de surveillance ne sont en place au Québec, le contrôle de ce facteur est faible puisque seules des actions de sensibilisation peuvent être effectuées. Sans surveillance, il est difficile de prédire les ventes et l'endroit où seront plantés les individus achetés en pépinière. Il est encore plus difficile de prévoir les comportements des particuliers effectuant une reproduction locale de l'espèce et une mauvaise gestion des rebuts. Néanmoins, si des programmes de vigilance encouragent la population à dénoncer les pépinières vendant des EEE, il serait possible d'avoir une meilleure idée des sites problématiques où ces espèces sont vendues. L'influence est difficile à identifier de façon précise puisqu'il faudrait tenir un registre de vente pour chaque pépinière pour connaître le nombre d'individus vendus. L'étendue du facteur est aussi limitée aux milieux occupés par les activités humaines où des particuliers achètent et plantent le nerprun de façon ornementale ou pour implanter des haies brise-vent. Cela apporte toutefois la possibilité d'introduire une nouvelle source de propagation. (Lavoie, 2019) Le critère est donc respecté partiellement. Du même coup, le critère de localité est respecté puisqu'il suffit de garder un œil vigilant sur les pépinières présentes dans les villes et les MRC. En revanche, il n'est pas possible de vérifier à quels endroits les plants de nerprun achetés seront introduits, impliquant ainsi que la localité est partiellement respectée.

5.3 Résultats de l'analyse

Suite à l'analyse de chacun des facteurs selon les critères définis, il est possible d'établir les facteurs devant être prioritaires lors de la mise en place d'un plan d'action. Les niveaux d'intensité de chaque facteur sont compilés dans le tableau 5.4. En additionnant les valeurs des critères, on peut voir que les quatre facteurs retenus sont : les forêts perturbées avec un score de 8, les populations de frêne et les banques de graines denses, ayant toutes deux obtenu un score de 7, et la vente à des fins ornementales avec un score de 5. En retenant ces critères, on s'aperçoit que deux sont dans la

catégorie environnement et que les deux autres sont respectivement dans les catégories de la biologie du nerprun et des critères autres. Il est alors possible de monter un plan d'action équilibré et versatile en utilisant ces critères pour agir sur chacune des catégories. Ainsi, le squelette de plan d'action pourra être adapté selon le contexte local particulier.

Tableau 5.4 Résultats de l'analyse des facteurs selon les critères établis et le total

		Critères				
Facteur		Contrôle	Prédictibilité	Influence	Local	Total
Biologie du nerprun	Dissémination des graines par zoochorie	+	+	++	-	4
	Banque de graines dense	+	++	++	+	7
	Résistance à l’ombre	-	--	++	+	-1
	Modification des sols	--	++	+	++	1
Environnemental	Population de frênes	+	++	+	++	7
	Forêts perturbées	+	++	++	++	8
	Géologie	--	+	-	+	-3
	Relation avec les espèces exotiques	-	--	+	--	-5
Autres	Changements climatiques	--	-	+	--	-6
	Arrivage de nouvelles EEE	--	-	+	0	-4
	Vente et reproduction à fin ornementale	+	+	+	+	5

6. DÉVELOPPER UN PLAN D'ACTION

Dans cette section, plusieurs conseils et lignes directrices seront proposés afin d'appliquer et de développer un plan d'action de contrôle du nerprun à petite ou moyenne échelle en prenant en compte les facteurs identifiés par l'analyse de la section 5. Il a été développé en interrogeant des gestionnaires de milieux naturels. Un plan d'action écrit est exigeant en ressources humaines, en temps et en coûts. C'est pourquoi certaines étapes sont souvent laissées pour compte ou abrégées par manque de ressources. Cela est vrai surtout pour les institutions ayant des moyens limités. Toutefois, un plan d'action réalisé en bon et due forme devient un outil indispensable pour assurer le succès des opérations de contrôle des EEE.

Certains outils développés par le gouvernement et des organismes sont disponibles pour le développement de plans d'action, mais aucun n'a été effectué pour le nerprun. Par exemple, on retrouve un guide pour le développement d'un plan de conservation d'un milieu humide (MDDEP, 2008) ou encore un guide de développement de plan d'action pour un développement durable (MELCC, 2015). Ces outils sont indispensables pour assister les MRC et autres organismes dans leur démarche de mise en place de plans d'action.

6.1 Qu'est-ce qu'un bon plan d'action?

Tout d'abord, un plan d'action doit couvrir plusieurs aspects importants d'une problématique afin de maximiser son efficacité. Il faut commencer par identifier les objectifs et sous-objectifs qui devront être atteints lors de la mise en place du plan. Chaque objectif dépend du contexte dans lequel le territoire à contrôler se retrouve. Par exemple, une municipalité qui n'a effectué aucun inventaire floristique devrait commencer par poser des objectifs d'identification de la problématique avant tout. Par contre, une ville ayant déjà des données quant aux caractéristiques des populations de nerprun présentes sur son territoire pourrait établir un plan d'action de contrôle en se basant sur les critères énoncés dans l'analyse et les méthodes effectives disponibles. (MELCC, 2015) Il faut aussi prendre en compte le contexte social. En effet, un bon objectif doit aussi être défini en tenant compte des parties prenantes impliquées dans le plan. Que ce soit les organismes ministériels, les citoyens, les propriétaires terriens ou encore les sous-traitants, chacun doit être inclus dans les démarches de manière active ou passive. Pour terminer, un bon objectif doit être accompagné de ses indicateurs et de ses cibles. Une cible doit être quantifiable ou qualifiable à l'aide de son indicateur afin de pouvoir effectuer un suivi et ainsi déterminer si le plan d'action est efficace vers l'atteinte de ses objectifs. (MELCC, 2015) Par exemple, une cible pourrait être de caractériser la

totalité des populations végétales présentes dans les parcs d'une municipalité et son indicateur serait le pourcentage de kilomètre carré (Km²) effectué après 3 ans.

Après avoir posé les objectifs et les cibles, il faut ensuite établir quels types d'actions seront entreprises au cours de la mise en place du plan d'action. On inclut ici la nature des interventions qui seront effectuées tout au long du plan. Que ce soit de la surveillance, de la caractérisation ou du contrôle, ces actions doivent être effectuées en harmonie avec les objectifs. (MELCC, 2015) C'est à cette étape qu'il devient important de caractériser l'invasion de nerprun. En utilisant les quatre facteurs retenus lors de l'analyse, on peut identifier les localisations problématiques pour l'établissement ou l'épanouissement d'une population de nerprun. Les actions devraient être cadrées autour de l'identification des milieux à risque pour l'établissement du nerprun, soit les milieux perturbés et s'il y a présence ou non de populations de frênes qui seront ou sont dépérissantes à cause de l'agrile. Ensuite, en déterminant la sévérité de l'invasion par le nerprun si elle est présente, il est possible de définir la marche à suivre afin d'optimiser le contrôle du nerprun. Le troisième facteur le plus pertinent à prendre en compte est la banque de graines. Ainsi, s'il y a présence d'individus reproducteurs adultes, il faut prendre en compte que la banque de graines sous-jacente doit être implicitement incluse dans le plan d'action. Du même fait, s'il n'y a que des jeunes pousses et des gaules non reproductifs, le contrôle de la banque de graines devient moins important et donc les coûts de suivis peuvent être diminués de beaucoup. Puisque la fructification du nerprun est problématique, des actions concentrées sur la diminution de la production de graines peuvent être un bon compromis pour commencer des actions de contrôle. De plus, il est pertinent d'inclure un programme de sensibilisation des citoyens à la présence et aux impacts reliés au nerprun. Ainsi, les citoyens informés sauront qu'il n'est pas judicieux d'acheter et de planter du nerprun sur leur terrains. Pour aller plus loin, la mise en place de surveillance des ventes en pépinière pourrait permettre de soulever la problématique et cesser la vente d'EEE.

Afin d'optimiser le bon déroulement du plan d'action, il est pertinent d'inclure des activités de sensibilisation et d'information aux citoyens. Ainsi, la vigilance commune des particuliers informés peut devenir un atout dans le contrôle du nerprun à long terme. On évite aussi les désagréments s'il y a des travaux de coupe à effectuer dans un parc public ou près de résidences. En effet, la coupe d'arbres de tout genre peut affecter la valeur du paysage des citoyens, mais une bonne campagne d'information incluant les impacts négatifs du nerprun aide à réduire le risque de mécontentement chez les citoyens. Il est aussi possible d'impliquer les citoyens de façon active en effectuant des corvées bénévoles d'arrachage et de coupe de nerprun et de plantation de végétaux indigènes. (Communication personnelle, Les amis de la Montagne)

Le plan d'action doit aussi inclure une période de suivi et de surveillance par rapport aux actions effectuées lors de la mise en marche. Il est impératif de suivre les indicateurs posés lors de la phase d'identification des objectifs et des cibles. En effectuant des comparaisons avec les résultats des suivis et des cibles, il est possible de rectifier les actions à prendre ou encore les bonifier. Après s'être fait une bonne idée des actions à accomplir, il faut inclure des éléments bureaucratiques essentiels au bon déroulement de la mise en œuvre du plan. On doit alors déterminer un budget accompagné d'un échéancier.

6.2 Conséquences de l'inaction

La problématique des EEE est souvent laissée de côté étant donné sa complexité et ses coûts importants en main-d'œuvre et en suivi à moyen et long terme. Toutefois, il est important de considérer que de ne pas faire face à la situation pourrait apporter des complications pour le futur. En effet, les impacts du nerprun sur les milieux naturels peuvent être majeurs, comme énoncés au chapitre 4 de ce travail. Ainsi, plus le temps passe, plus les impacts négatifs du nerprun sur son environnement deviennent importants. Ci-dessous, une liste a été dressée des conséquences découlant de populations de nerpruns laissées sans aucune forme de contrôle ou de suivi :

- Enrichissement de la banque de graines des EEE dans le sol
- Risque d'établissement de nouvelles populations
- Augmentation du nombre et de la taille des individus reproducteurs
- Dégradation de la qualité des sols nuisant à l'établissement des espèces indigènes
- Boucle de rétroaction positive impliquant d'autres espèces exotiques
- Augmentation des coûts liés aux interventions
- Perte de valeur des biens et services rendus par les milieux naturels affectés

Il est important de prendre en compte que dans certaines conditions l'élimination complète d'une EEE peut être impossible ou encore que les actions de contrôle peuvent causer plus de dommages au milieu naturel environnant. Cela est particulièrement vrai pour des secteurs abritant des écosystèmes fragiles comme les milieux humides. Dans ce contexte, il est important de bien analyser les risques et les avantages à effectuer les opérations de contrôle. Il est aussi possible de modifier les objectifs vers un but de mitigation. Ainsi, l'objectif serait plutôt focalisé sur limiter l'expansion d'une colonie de nerprun déjà existante et éviter l'apparition de nouvelles colonies. (Communications personnelles, Sam Karathanos, Institut de recherche de biologie végétale)

6.3 Recommandations pour un plan d'action

En bref, un plan d'action efficace doit être développé selon les besoins et le contexte propre à chacun des gestionnaires de territoires, qu'ils soient des MRC ou des particuliers. Les actions à prendre peuvent varier selon le budget disponible et la sévérité des infestations. Quelques recommandations d'actions à intégrer dans un plan ont été formulées afin de diriger le développement d'un plan d'action focussant sur une gestion préventive du nerprun.

- Inclure une bonne formation pour l'identification du nerprun malgré ses variations physiologiques importantes particulièrement chez les jeunes pousses.
- Avoir une cartographie des différentes populations écologiques des différents milieux naturels présents sur le territoire.
- Établir une caractérisation des populations de nerprun présente sur le territoire en portant une attention particulière sur le degré d'invasion et la taille des individus.
- Créer des plans de sensibilisation à la population mettant en valeur la biodiversité indigène et la sensibilisation aux espèces exotiques envahissantes.
- Intégrer des corvées de contrôle d'EEE impliquant les citoyens.
- Faire appel aux MRC, municipalité et organismes ayant déjà effectué des actions de contrôle et des plans d'action afin d'optimiser les ressources lors de la phase de développement.

7. RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES

À la suite de l'analyse des résultats et de la discussion sur la mise en place d'un plan d'action, plusieurs recommandations générales par rapport à la gestion préventive du nerprun au Québec ont été regroupées ci-dessous.

- Réaliser des études afin de confirmer des facteurs importants de la biologie du nerprun, comme sa réaction à un pH du sol acide, ce qui pourrait fortement influencer son avance dans les territoires nordiques du Québec.
- Imposer une loi interdisant la vente ou toute forme de reproduction du nerprun et des autres EEE connues à ce jour.
- Instaurer des programmes de sensibilisation pour les citoyens afin de propager des informations concernant l'importance de limiter la prolifération des EEE et les impacts que celles-ci apportent.
- Améliorer la communication entre les différentes parties prenantes afin d'optimiser les connaissances pour exécuter des plans d'action plus efficaces.
- Établir une définition précise et normative du terme espèce exotique envahissante en se basant sur leurs caractéristiques communes.
- Effectuer des inventaires floristiques afin d'identifier les milieux à risque d'invasion comme les forêts perturbées et les populations de frênes.
- Inclure la valeur monétaire des biens et services écologiques des milieux naturels ayant une richesse de biodiversité élevée lors de l'exécution de travaux impliquant leur destruction ou leur modification.
- Développer des outils et des guides d'aide à la mise en place de plans d'action de contrôle, de gestion et de surveillance des EEE.
- Offrir un programme d'encadrement des MRC et municipalité pour la mise en place de caractérisation et de suivi des milieux naturels perturbés par les activités anthropiques afin de limiter l'établissement d'EEE.
- Évaluer les besoins en interventions selon le contexte écologique, social et économique du territoire où auront lieu les interventions de gestion.
- Prévenir la venue et l'étalement de nouvelles EEE à l'aide de programme de surveillance.
- Porter une attention particulière à la surveillance d'établissement d'EEE sur les territoires perturbés par les activités anthropiques, surtout en zone urbanisée.
- Assurer l'intégrité et la protection des milieux écologiques existants en restaurant des milieux perturbés à l'aide de plantation de végétaux indigènes.

- Intégrer les risques d'impacts négatifs associés aux EEE lors de la mise en place de plans d'aménagement et de développement urbain en limitant les risques d'introduction et de propagation d'EEE.

CONCLUSION

En conclusion, la problématique des espèces exotiques envahissantes est une réalité ayant des enjeux importants pour le Québec. La gestion de ces espèces doit être incluse dans les plans d'aménagement au niveau local. En considérant le contexte d'augmentation des échanges internationaux, la venue de nouvelles EEE est une possibilité majeure à court et à long terme. C'est pourquoi il faut prendre des mesures immédiates afin de conserver les milieux naturels intacts et restaurer les milieux affectés par les EEE lorsque possible. Plusieurs problématiques ont été soulevées en ce qui concerne la définition du terme d'EEE. Il faudrait qu'il y ait consensus sur les caractéristiques d'une EEE afin d'établir une définition claire tenant compte de ces aspects, comme une capacité accrue d'adaptation permettant à une espèce exotique de devenir problématique. En considérant les impacts importants qu'a le nerprun sur les écosystèmes du Québec et sa haute capacité de survie dans une grande variété de conditions, il est indéniable que le nerprun cathartique doit être considéré comme une EEE. La gestion de cet arbuste doit être faite de façon à limiter la mise en place de nouvelles populations tout en limitant l'expansion des colonies existantes. Toutefois, chaque plan d'action doit être développé en tenant compte du contexte particulier à l'échelle locale. En effet, il n'est pas optimal d'établir un plan de gestion général alors que chaque colonie dans un même territoire pourrait être gérée de façon différente.

Puisque le contexte influence de manière importante les mesures de gestion à prendre, ce travail a fait ressortir les éléments les plus importants liés au contexte de la présence du nerprun au Québec. En évaluant les différents facteurs ressortant de la biologie du nerprun, de la biogéographie du Québec et des autres éléments de contexte, il a été possible de faire ressortir quatre facteurs à prioriser lors de la mise en place de plans de gestion. Les facteurs retenus sont la perturbation des milieux naturels par les activités anthropiques ou par la venue de l'agrile du frêne décimant de larges populations de frêne matures. Cela ouvre la porte au nerprun qui apprécie particulièrement les canopées ouvertes. Un aspect important de la biologie du nerprun a aussi été retenu, soit sa banque de graines impressionnante. En effet, la gestion doit prendre en compte les individus reproducteurs femelles qui produisent une grande quantité de graines pouvant alimenter la banque locale ou entraîner l'établissement de nouvelles populations par l'intermédiaire des oiseaux consommant les fruits. Chacun de ces facteurs a été évalué par des critères de contrôle, de prédictibilité, d'influence et de localité. En mettant l'emphasis sur ces quatre facteurs lors d'interventions, les chances de succès seront augmentées vu la spécificité du nerprun et du Québec.

Après avoir pris en compte l'étendu de la problématique du nerprun, il reste la tâche la plus exigeante en coûts et en temps : la préparation des interventions de gestion. Le tout commence par

le développement d'un plan d'action. Un bon plan d'action doit être bâti sur des fondations solides commençant par des objectifs pertinents. Ceux-ci doivent être accompagnés d'une cible ainsi que d'un indicateur pour permettre un suivi efficace et adéquat. Le manque de ressources disponibles pour assister les particuliers et les organismes dans le développement de ces plans est un obstacle majeur pour la mise en place de ces plans. Malgré l'investissement important de ressources dans le développement d'un tel outil, il est important de l'effectuer. Sinon, l'inaction peut avoir des effets pernicieux comme l'augmentation des coûts avec le temps et la perte de valeur monétaire reliée aux biens et services écologiques rendus par les milieux naturels. L'objectif de mettre en lumière des facteurs propres au nerprun et à la région du Québec permettant de guider la mise en place de plan d'action de gestion préventive du nerprun a été atteint. Toutefois, il reste qu'une incertitude est toujours présente, puisque, selon le territoire géré, les facteurs peuvent ne pas s'appliquer. Par exemple, si on ne retrouve pas de frêne, il n'est pas pertinent d'inclure une détection des frênaies dans le plan d'action.

Le sud du Québec est un territoire riche en biodiversité et écosystèmes particuliers qui mérite d'investir efforts et argent pour sa conservation. C'est un défi de taille à relever, puisque c'est aussi le secteur le plus habité de la province. L'urbanisation et les interventions anthropiques ne peuvent être freinées, mais il est possible d'adopter de meilleures pratiques. Avec toutes les informations disponibles et des experts pouvant être consultés, il ne reste qu'à investir pour le développement d'outils et de guides permettant la mise en place d'effort de gestion des EEE. Il serait intéressant qu'à l'avenir, les plans d'urbanisation et de développement d'infrastructures menant au développement urbains et agricoles des régions du sud du Québec aient une section attitrée pour le suivi et la gestion des EEE pouvant s'établir dans les milieux naturels ayant été perturbés. Une surveillance accrue accompagnée de mesures de préventions et de gestion proactive pourrait être une solution intéressante à la problématique des EEE.

RÉFÉRENCES

- Agence canadienne d'inspection des aliments. (2019). Bretziellafagacearum (précédemment nommé Ceratocystisfagacearum) (Flétrissement du chêne) - Fiche de renseignements. Repéré à <http://www.inspection.gc.ca/vegetaux/phytoravageurs-especes-envahissantes/maladies/fletrissement-du-chene/fiche-de-renseignements/fra/1325629194844/1325632464641>
- Allard-Huver, F. (2016). Les e-citoyens auront-ils la peau du Roundup?. *The Conversation*. Repéré à http://lettres.sorbonne-universite.fr/IMG/pdf/201606-TCF-FAHuver-Les_e-citoyens_auront-ils_la_peau_du_Roundup_.pdf
- Andalo, C., Beaulieu, J., & Bousquet, J. (2005). The impact of climate change on growth of local white spruce populations in Quebec, Canada. *Forest Ecology and Management*, 205(1-3), 169-182.
- Archibold, O. W., Brooks, D., & Delanoy, L. (1997). An investigation of the invasive shrub European buckthorn, *Rhamnus cathartica* L., near Saskatoon, Saskatchewan. *Canadian Field-Naturalist*, 111(4), 617-621.
- Cappaert, D., McCullough, D. G., Poland, T. M., & Siegert, N. W. (2005). Emerald ash borer in North America: a research and regulatory challenge. *American Entomologist*. 51 (3): 152-165., 51(3).
- Charles, H., & Dukes, J. S. (2008). Impacts of invasive species on ecosystem services. In *Biological invasions* (pp. 217-237). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Carrizosa, S., Brush, S., & McGuire, P. (Eds.). (2004). Accessing biodiversity and sharing the benefits: Lessons from implementing the Convention on Biological Diversity (No. 54). IUCN.
- Chong, J., Gruenke, J., Dueck, R., Mayert, W., & Woods, S. (2008). Virulence of oat crown rust [*Puccinia coronata* f. sp. *avenae*] in Canada during 2002–2006. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 30(1), 115-123.
- Colautti, R. I., & MacIsaac, H. J. (2004). A neutral terminology to define 'invasive' species. *Diversity and distributions*, 10(2), 135-141.
- Dearborn, D. C., & Kark, S. (2010). Motivations for conserving urban biodiversity. *Conservation biology*, 24(2), 432-440.
- Delanoy, L., & Archibold, O. W. (2007). Efficacy of control measures for European buckthorn (*Rhamnus cathartica* L.) in Saskatchewan. *Environmental management*, 40(4), 709-718.
- Développement durable environnement et parc Québec (DDEQ). (2008). Guide d'élaboration d'un plan de conservation des milieux humides. Repéré à http://belsp.uqtr.ca/1179/1/Joly%20et%20al_2008_Guide_plan_conservation_milieux-humides_A.pdf
- Dukes, J. S., Pontius, J., Orwig, D., Garnas, J. R., Rodgers, V. L., Brazee, N.,...& Ehrenfeld, J. (2009). Responses of insect pests, pathogens, and invasive plant species to climate change in the forests of northeastern North America: what can we predict?. *Canadian journal of forest research*, 39(2), 231-248.
- Flora Québécoise. (2019). Glossaire de botanique. Repéré à <https://www.floraquebeca.qc.ca/glossaire-de-botanique/>

- Garrod, G. D., & Willis, K. G. (1997). The non-use benefits of enhancing forest biodiversity: a contingent ranking study. *Ecological Economics*, 21(1), 45-61.
- Grubb, P. J., Lee, W. G., Kollmann, J., & Wilson, J. B. (1996). Interaction of irradiance and soil nutrient supply on growth of seedlings of ten European tall-shrub species and *Fagus sylvatica*. *Journal of Ecology*, 827-840.
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC).(2018). Global warming of 1.5°C : An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Repéré à https://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15_spm_final.pdf
- Houle, D., Bouffard, A., Duchesne, L., Logan, T., & Harvey, R. (2012). Projections of future soil temperature and water content for three southern Quebec forested sites. *Journal of Climate*, 25(21), 7690-7701.
- Iannone, B. V., Umek, L. G., Heneghan, L., & Wise, D. H. (2013). Amending soil with mulched European buckthorn (*Rhamnus cathartica*) does not reduce reinvasion. *Ecological Restoration*, 31(3), 264-273.
- Hausman, C. E., Jaeger, J. F., & Rocha, O. J. (2010). Impacts of the emerald ash borer (EAB) eradication and tree mortality: potential for a secondary spread of invasive plant species. *Biological invasions*, 12(7), 2013-2023.
- Heidorn, R. (1991). Vegetation management guideline : exotic buckthorns—common buckthorn (*Rhamnus cathartica* L.), glossy buckthorn (*Rhamnus frangula* L.), Dahurian buckthorn (*Rhamnus davurica* Pall.). *Natural Areas Journal*, 11(4), 216-217.
- Heneghan, L., Clay, C., & Brundage, C. (2002). Rapid decomposition of buckthorn litter may change soil nutrient levels. *Ecological Restoration*, 20(2), 108-111.
- Heneghan, L., Rauschenberg, C., Fatemi, F., & Workman, M. (2004). European buckthorn (*Rhamnus cathartica*) and its effects on some ecosystem properties in an urban woodland. *Ecological Restoration*, 22(4), 275-280.
- Klionsky, S. M., Amatangelo, K. L., & Waller, D. M. (2011). Above-and belowground impacts of European buckthorn (*Rhamnus cathartica*) on four native forbs. *Restoration Ecology*, 19(6), 728-737.
- Knight, K. S., Kurylo, J. S., Endress, A. G., Stewart, J. R., & Reich, P. B. (2007). Ecology and ecosystem impacts of common buckthorn (*Rhamnus cathartica*): a review. *Biological Invasions*, 9(8), 925-937.
- Knight, K. S. (2006). Factors that influence invasion success of two woody invaders of forest understories. University of Minnesota.
- Kremer, E. (2008). Étude des menaces et des risques liées aux espèces exotiques envahissantes forestières. Repéré à http://publications.gc.ca/collections/collection_2012/rncan-nrcan/Fo143-2-415-fra.pdf
- Kurylo, J. S., Knight, K. S., Stewart, J. R., & Endress, A. G. (2007). *Rhamnus cathartica*: Native and naturalized distribution and habitat preferences1. *The Journal of the torrey Botanical society*, 134(3), 420-431.

- Labbé, R. (2018). Puccinia coronata/Rouille couronnée. *Mycoquébec.org*. Repéré à <https://www.mycoquebec.org/bas.php?l=r&nom=Puccinia%20coronata%20/%20Rouille%20couronn%C3%A9&post=Puccinia&gro=38&tag=Puccinia%20coronata>
- LaFleur, N., Rubega, M., & Parent, J. (2009). Does frugivory by European starlings (*Sturnus vulgaris*) facilitate germination in invasive plants?. *The Journal of the Torrey Botanical Society*, 332-341.
- Lamontagne, L., & Nolin, M. C. (1997). *Cadre pédologique de référence pour la corrélation des sols*. Agriculture et Agroalimentaire Canada, Direction générale de la recherche.
- Lavoie, C. (2019). 50 Plantes envahissantes : Protéger la nature et l'agriculture. Québec, Québec : Publication du Québec.
- Linz, G. M., Homan, H. J., Gaulker, S. M., Penry, L. B., & Bleier, W. J. (2007). European starlings: a review of an invasive species with far-reaching impacts.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being*. Washington, DC : Island Press.
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). (2002). Une classification climatique du Québec à partir de modèles de distribution spatiale de données climatiques mensuelles : Vers une définition des bioclimats du Québec. Repéré à <http://www.environnement.gouv.qc.ca/changements/classification/index.htm>
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). (2015). Guide d'élaboration d'un plan d'action de développement durable. Repéré à <http://www.environnement.gouv.qc.ca/developpement/outils/guide-elabo-plandd.pdf>
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). (2019). Aires protégées au Québec — Les provinces naturelles : Niveau I du cadre écologique de référence du Québec - Les principaux descripteurs des provinces naturelles. Repéré à http://www.environnement.gouv.qc.ca/biodiversite/aires_protegees/provinces/index.htm
- Ministère des Forêts de la Faune et des Parcs (MFFP). (2019). Maladie hollandaise de l'orme. Repéré à <https://mffp.gouv.qc.ca/forets/fimaq/insectes/fimaq-insectes-maladies-hollandaise.jsp>
- Nowak, D. J., Crane, D. E., & Stevens, J. C. (2006). Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban forestry & urban greening*, 4(3-4), 115-123.
- Pearce, D., & Moran, D. (2013). *The economic value of biodiversity*. Routledge.
- Pergams, O. R., & Norton, J. E. (2006). Treating a single stem can kill the whole shrub: a scientific assessment of buckthorn control methods. *Natural Areas Journal*, 26(3), 300-310.
- Powell, K. I., Chase, J. M., & Knight, T. M. (2011). A synthesis of plant invasion effects on biodiversity across spatial scales. *American Journal of Botany*, 98(3), 539-548.
- Prentis, P. J., Wilson, J. R., Dormontt, E. E., Richardson, D. M., & Lowe, A. J. (2008). Adaptive evolution in invasive species. *Trends in plant science*, 13(6), 288-294.
- Qaderi, M. M., Clements, D. R., & Cavers, P. B. (2009). The biology of Canadian weeds. 139. *Rhamnus cathartica* L. *Canadian Journal of Plant Science*, 89(1), 169-189.
- Ressources naturelle Canada (RNC). (2019). Chancre du noyer cendré. Repéré à <https://www.rncan.gc.ca/chancre-du-noyer-cendre/13376>

- Ricciardi, A., & Cohen, J. (2007). The invasiveness of an introduced species does not predict its impact. *Biological Invasions*, 9(3), 309-315.
- Roth, A. M., Whitfeld, T. J., Lodge, A. G., Eisenhauer, N., Frelich, L. E., & Reich, P. B. (2015). Invasive earthworms interact with abiotic conditions to influence the invasion of common buckthorn (*Rhamnus cathartica*). *Oecologia*, 178(1), 219-230.
- Roy, L., Leconte, R., Brissette, F. P., & Marche, C. (2001). The impact of climate change on seasonal floods of a southern Quebec River Basin. *Hydrological processes*, 15(16), 3167-3179.
- Schmidt, K. A., & Whelan, C. J. (1999). Effects of exotic *Lonicera* and *Rhamnus* on songbird nest predation. *Conservation Biology*, 13(6), 1502-1506.
- Seebens, H., Blackburn, T. M., Dyer, E. E., Genovesi, P., Hulme, P. E., Jeschke, J. M., ... & Ansong, M. (2018). Global rise in emerging alien species results from increased accessibility of new source pools. *Proceedings of the NATIONAL Academy of Sciences*, 115(10), E2264-E2273.
- Stevens, P. F. (2017). Angiosperm Phylogeny Website. Version 14, July 2017 [and more or less continuously updated since]. Repéré à <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>.
- Stewart, J. R., & Graves, W. R. (2006). Photosynthesis, growth, carbon allocation, and fruit load of *Frangula caroliniana* and *Rhamnus cathartica*. *International journal of plant sciences*, 167(6), 1161-1168.
- Tsahar, E., Friedman, J., & Izhaki, I. (2002). Impact on fruit removal and seed predation of a secondary metabolite, emodin, in *Rhamnus alaternus* fruit pulp. *Oikos*, 99(2), 290-299.
- Weber, E. (1998). The dynamics of plant invasions: a case study of three exotic goldenrod species (*Solidago* L.) in Europe. *Journal of Biogeography*, 25(1), 147-154.
- Willis, C. G., Ruhfel, B. R., Primack, R. B., Miller-Rushing, A. J., Losos, J. B., & Davis, C. C. (2010). Favorable climate change response explains non-native species' success in Thoreau's woods. *PloS one*, 5(1), e8878.
- Wironen, M., & Moore, T. R. (2006). Exotic earthworm invasion increases soil carbon and nitrogen in an old-growth forest in southern Quebec. *Canadian Journal of Forest Research*, 36(4), 845-854.